This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Digitized by Google

HARVARD COLLEGE LIBRARY

BOUGHT FROM THE INCOME OF THE FUND
BEQUEATHED BY
PETER PAUL FRANCIS DEGRAND
(1787–1855)
OF BOSTON

FOR FRENCH WORKS AND PERIODICALS ON THE EXACT SCIENCES
AND ON CHEMISTRY, ASTRONOMY AND OTHER SCIENCES
APPLIED TO THE ARTS AND TO NAVIGATION

SCIENCE CENTER LIBRARY

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

REVUE

DES

COURS SCIENTIFIQUES

DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

COLLÉGE DE FRANCE
MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE — SORBONNE — ÉCOLE DE PHARMACIE
FACULTÉ DE MÉDECINE — SOCIÉTÉS SAVANTES
FACULTÉS DES DÉPARTEMENTS — UNIVERSITÉS ÉTRANGÈRES
SOIRÉES SCIENTIFIQUES DE LA SORBONNE ET DES VILLES DE PROVINCE
CONFÉRENCES LIBRES

Avec 222 figures intercalées dans le texte

TROISIÈME ANNÉE

PARIS

GERMER BAILLIÈRE, LIBRAIRE-ÉDITEUR

17, RUE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE, 17

Londres
Hipp. Baillière, 219, Regent street.

New-York
Baillière brothers, 440, Broadway.

Madrid
C. BAILLY-BAILLIÈRE, PLAZA DEL PRINCIPE ALFONSO, 16.

1865-1866

Digitized by Google

Sci 80.40

HARVARD COLLEGE
JUL 29 1921
LIBRARY
Degrand fund

Paris. — Imprimerie de E. MARTINET, rue Mignon, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE NUMÉRO 1 2 DÉCEMBRE 1865

Paris, 1er décembre 1865.

La question de l'ozonométrie a occupé lundi dernier une grande partie de la séance de l'Académie des sciences. M. Fremy a demandé à l'Académie, au nom de M. Bérigny, qui lui a déjà présenté cinq mémoires relatifs aux études ozonométriques, s'il ne serait pas convenable de nommer une commission chargée d'examiner la valeur des méthodes ozonométriques actuellement employées pour la recherche de ce corps dans l'atmosphère. Malgré des observations assez vives de M. Pouillet,— qui prétend que l'Académie ne doit nommer de commission que pour juger les travaux qui lui sont présentés, et croit comprendre que la commission actuellement demandée n'a pas d'autre but que de répondre à une question qui lui est posée par un observateur, — cette commission est nommée.

M. Fremy rappelle à cette occasion qu'il a présenté il y a quelques années, de concert avec M. Edmond Becquerel, un mémoire sur l'ozone qu'ils ont considéré comme une modification allotropique de l'oxygène; mais il ajoute qu'ils ont toujours eu soin d'opérer sur de l'oxygène préparé artificiellement dans le laboratoire et ozonisé ensuite par des décharges électriques. Quant à la recherche de l'ozone dans l'atmosphère, elle se fait toujours en étudiant les variations de couleur ou d'alcalinité du papier ioduro-amidonné; or, la composition exacte de l'atmosphère ne lui paraît pas assez complétement déterminée pour que l'on puisse attribuer avec quelque certitude à la présence de l'ozone la coloration bleue du papier de Schœnbein. Le seul moyen décisif, à son avis, pour établir la présence de l'ozone dans l'atmosphère, ce serait de faire passer de l'air à froid, pendant un certain temps, sur de l'argent parfaitement pur; on sait, en effet, que l'ozone oxyde l'argent à froid, tandis que l'oxygène ordinaire ne possède pas cette propriété; et, si l'on établissait la production de l'oxyde d'argent dans ces circonstances, la question serait jugée.

Ce qui empêche surtout M. Fremy de croire à la présence de l'ozone dans l'air, c'est la présence constante de matières organiques qui ont la propriété de faire disparaître ce corps sans qu'on sache au juste comment.

On sait que l'absence de l'ozone a souvent été signalée dans diverses épidémies; circonstance d'où l'on est parti pour attribuer à ce fait un certain rôle dans le développement et la propagation des épidémies. C'est ce qui a décidé M. Le Verrier à faire exécuter par le service météorologique organisé dans les écoles normales primaires, des observations ozonométriques dans toute la France. Les résultats de ces observations offrent une concordance remarquable sur les différents points du territoire, de telle sorte que les variations de la cause qui fait bleuir le papier ioduro-amidonné, — que ce soit d'ailleurs l'ozone ou autre chose, — se produiraient en même temps dans de grandes régions. Un travail de M. Marié-Davy semble bien établir un certain rapport entre ces variations et la marche des bourrasques qui développent toujours beaucoup d'électricité. Mais pour tirer de ces observations les conclusions hygiéniques auxquelles elles pourraient conduire, il faudrait avoir l'état sanitaire exact de chaque localité à la même époque, et les renseignements demandés à ce sujet ne sont pas encore complets.

M. Le Verrier annonce en outre qu'il a fait recueillir dans toute la France les premières eaux de pluie tombées à la suite des longues sécheresses de l'été. L'étude de ces diverses eaux peut, d'après M. Balard, offrir le plus grand intérêt relativement à la constitution de l'atmosphère, et les analyses qui ont déjà été faites accusent des différences énormes de composition.

Le monde médical de Paris est en grand émoi depuis une dizaine de jours. Il s'agit de la création d'une chaire spéciale d'ophthalmologie à la Faculté de médecine de Paris, chaire qui existe dans la plupart des universités étrangères. L'administration proposait spontanément cette mesure, et l'on savait qu'il était question, pour remplir cette chaire, d'un médecin allemand fixé depuis quelques années à Paris, y jouissant déjà d'une grande célébrité, et dont le talent et les importants travaux d'oculistique ne sont méconnus par personne; il était du reste le préparateur de Helmholtz, lorsque cet illustre physiologiste inventa l'ophthalmoscope, qui est certainement la découverte la plus importante de ce siècle dans cette branche des sciences médicales, et les mémoires de Helmholtz lui-même constatent qu'il prit une très-grande part à ce remarquable travail.

Cette circonstance a soulevé les plus vifs mécontente-

Digitized by Google

ments et l'opposition la moins déguisée dans le sein de la Faculté de médecine. Il est profondément regrettable de voir ainsi les questions de personnes dominer les questions scientifiques d'une manière aussi absolue dans l'esprit des gens qui, par leur position et leurs études, devraient être plus que tous les autres dégagés de pareilles considérations. Ce sont des obstacles du même genre qui ont déjà empêché, il y a quelques années, la création de nouvelles chaires, et pour que les étudiants aient un cours d'histologie, dont l'indispensable nécessité ne saurait guère être contestée, il a fallu que l'intervention directe du ministre vînt mettre un terme à l'opposition de la Faculté. A une autre époque, et à plusieurs reprises, le ministre de l'instruction publique proposa à la Faculté de médecine d'instituer dans son sein une chaire d'histoire de la médecine; sur le refus de la Faculté, cette chaire fut mise plus tard au Collége de France, et c'est à la suite de cette dernière mesure que les conférences historiques des agrégés ont été organisées l'année dernière.

Ne pourrait-on pas voir dans tous ces faits un parti pris de s'opposer à toute innovation, fût-elle jugée excellente? — Il faut savoir accepter le bien d'où qu'il vienne, et ne pas enrayer le progrès scientifique à seule fin de donner satisfaction à des répugnances que rien d'ailleurs ne justifie. Pour en revenir à la circonstance qui nous inspire ces réflexions, les étudiants français, grâce à des résistances intempestives, attendront peut-être longtemps encore un enseignement ophthalmologique *spécial* qui ne peut leur être donné dans une mesure assez large par les professeurs de pathologie chirurgicale, dont le programme est déjà trop étendu.

ÉMILE ALGLAVE.

CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS.

CHIMIE AGRICOLE.

COURS DE M. BOUSSINGAULT
(de l'Institut).

Constitution générale de l'atmosphère dans ses rapports avec les êtres organisés.

L'année dernière, lorsque nous avons étudié la constitution chimique et physique de l'atmosphère, nous avons établi qu'elle renferme de l'azote, de l'oxygène, de l'acide carbonique, de la vapeur d'eau, de l'ammoniaque, de l'acide azotique et de l'acide azoteux. Les proportions suivant lesquelles se trouvent ces trois derniers corps dans l'atmosphère sont infiniment petites et très-variables. Sans les quelques dix millièmes d'acide carbonique (de 4 à 6 environ) qui se trouvent dans l'air, on peut affirmer qu'aucune plante, aucun animal n'existeraient sur le globe. On peut se faire une idée du poids total de l'acide carbonique, en sachant quel est le poids de l'atmosphère, et il est si considérable, que ce n'est pas par les moyens ordinaires qu'on peut l'exprimer. S'il était possible de mettre l'atmosphère tout entière dans un ballon et de le suspendre à une balance, il faudrait pour lui faire équilibre dans le plateau opposé 4000 cubes de cuivre d'une lieue de côté, ou plus exactement 581 000 cubes de cuivre de 1 kilomètre de côté.

Nous avons expliqué l'année dernière comment l'océan gazeux pénètre l'océan liquide et réciproquement. Aussi rencontre-t-on dans la mer les mêmes gaz que dans l'atmosphère. L'oxygène s'y trouve par rapport à l'azote en plus grande proportion que dans l'air.

Ce ne sont pas là tous les éléments constitutifs de l'atmosphère, il y a en outre des gaz carburés qui s'échappent de différents points de la surface de la terre et du fond des mers. L'Italie et la Sicile possèdent de nombreuses sources de ces gaz inflammables. Mais c'est en Asie que ce gaz paraît se dégager en quantités vraiment prodigieuses. Les environs de Bakon sont riches en fontaines de gaz.

La Chine renferme des sources de gaz inflammables connues sous le nom de *puits de feu*. On compte jusqu'à dix mille de ces puits sur une surface de 50 lieues carrées. On utilise les gaz qui s'en échappent pour l'éclairage et pour l'évaporation de grandes quantités d'eau salée. Les volcans et les terrains marécageux sont une source constante de gaz combustibles, et la quantité émise dans l'atmosphère est considérable.

L'analyse ne constate l'existence de ces gaz que par des procédés très-délicats. Théodore de Saussure, dans ses importantes recherches sur l'acide carbonique atmosphérique, est arrivé à soupçonner la présence d'un gaz combustible dans l'air. Il faisait détoner un mélange de gaz hydrogène pur et d'air atmosphérique privé d'acide carbonique. Il a toujours obtenu après la combustion de nouvel acide carbonique. Les expériences de ce célèbre chimiste laissent indécise la nature du gaz combustible qui produit cet acide, mais il paraît évident, dit-il, que ce doit être de l'hydrogène carboné ou du gaz oxyde de carbone. Saussure opérait sur une atmosphère limitée, tandis qu'il fallait agir sur une grande masse d'air pour se mettre à l'abri des causes d'erreurs. J'ai repris l'expérience de Saussure lorsque j'étais doyen de la Faculté des sciences à Lyon, et j'ai employé un moyen qui permet d'opérer sur 1 mètre cube d'air. L'air passait dans un tube de porcelaine chauffé au rouge et contenant des fils de platine. On privait l'air qui devait traverser le tube de son acide carbonique en le faisant passer dans un tube rempli de fragments de pierre ponce imbibée d'une dissolution concentrée de potasse caustique. Dans le tube porté au rouge il y avait une combustion. En sortant du tube, l'air traversait une éprouvette contenant de l'eau de baryte, l'acide carbonique résultant de la combustion des gaz carburés, était ainsi retenu sous forme de carbonate de baryte. On pouvait donc connaître la quantité de carbone brûlé. L'expérience a duré pendant huit jours et huit nuits. Un habile observateur hollandais fit aussi des expériences sur une quantité considérable d'air. Dans 100 000 volumes d'air, il trouva 9 volumes d'acide carbonique provenant de la combustion de l'oxyde de carbone ou de l'hydrogène carboné. De toutes ces expériences, on peut légitimement conclure qu'il y a dans l'atmosphère des gaz contenant du carbone.

Enfin, on a trouvé dans l'air de l'hydrogène sulfuré. Une atmosphère qui contient de ce gaz noircit la surface d'une pièce d'argent ou bien encore un papier imbibé d'acétate de plomb. L'hydrogène sulfuré est délétère : un oiseau périt

Digitized by Google

dans une atmosphère qui en contient $\frac{1}{1000}$; il en faut $\frac{1}{600}$ pour tuer un chien, et $\frac{1}{300}$ pour tuer un cheval. L'oxyde de carbone est aussi un poison très-actif: un animal de petite taille périt dans une atmosphère qui en contient $\frac{1}{100}$.

Lorsqu'un gaz n'est pas répandu dans l'air en proportion suffisante pour tuer, il peut cependant causer une maladie. Dans les pays marécageux, il y a une puissante cause d'insalubrité. On peut en effet recueillir des gaz délétères qui s'échappent continuellement de leur intérieur. Ces gaz ne sont pas la cause unique de l'insalubrité, il y a encore des principes pestilentiels que l'on nomme des *miasmes*. Les miasmes se développent là où la matière végétale morte est exposée à l'action de la chaleur et de l'humidité. Cette production se manifeste surtout d'une manière terrible dans les localités où il se fait un mélange d'eau douce et d'eau salée, comme à l'embouchure des grands fleuves, ou sur le littoral des golfes qui reçoivent de nombreux torrents. Dans les vastes steppes de l'Amérique et de l'Asie, les fièvres se déclarent chaque année après la saison pluvieuse. En général, l'insalubrité d'un pays est d'autant plus grande qu'il y règne une température plus chaude et plus humide. Cependant ce n'est pas la chaleur seule qui produit un principe pestilentiel, car souvent une différence de niveau, quelquefois très-légère, met une habitation à l'abri de l'influence délétère qui sévit dans le fond d'une vallée. Ainsi, le village de Turbaco qui est seulement élevé de 364 mètres au-dessus du niveau de la mer, est exempt de la fièvre jaune, qui ravage si souvent le port de Cartagena. On peut citer un bon nombre d'autres faits de ce genre et en conclure que la matière organique végétale, en se décomposant sous l'influence d'une forte chaleur et d'une humidité constante, produit des miasmes.

On a supposé que l'air malsain était plus pesant que l'air pur, et l'on a admis que les miasmes se déposaient avec la rosée qui se forme en abondance après le coucher du soleil. Mascati, savant italien, condensa l'eau dissoute dans l'atmosphère, dans le but d'y rechercher le principe qui viciait l'air. Il fit ses expériences dans les rivières de la Toscane. Mascati suspendait à quelque distance du sol des matras remplis de glace. L'eau qui se déposait à la surface des matras pouvait se recueillir aisément. Cette eau d'abord limpide, présenta bientôt des flocons qui possédaient des propriétés spéciales aux matières animalisées. Cette liqueur finit, au bout de quelques jours, par se putréfier complétement.

On a établi par des expériences faites sur des animaux, l'action délétère de cette eau. Je fis d'autres expériences à Cartago: peu après le coucher du soleil, je posai deux verres de montre sur une table placée au milieu d'un pré marécageux. Dans l'un des verres, je mis de l'eau distillée chaude, afin d'éviter le dépôt de rosée; l'autre ne tarda pas à se refroidir par l'effet du rayonnement nocturne et à se couvrir d'une rosée abondante. En ajoutant de l'acide sulfurique dans chaque verre et en évaporant à sec, je trouvais toujours une trace de matière charbonneuse adhérente au verre dans lequel la rosée s'était déposée, tandis que le verre qui n'avait pas reçu de rosée était parfaitement net après la volatilisation de l'acide. Il y faut signaler aussi ce fait curieux que les eaux en contact prolongé avec l'atmosphère sont tout aussi malsaines que celles-ci. En Chine, en Toscane, il faut faire bouillir les eaux afin de détruire les miasmes qu'elles contiennent. Les Chinois, qui ne prennent guère d'autre boisson que le thé, — dont la préparation demande de l'eau bouillie, — sont par le fait même de ce régime à l'abri de l'influence toxique des miasmes aquatiques.

Il y a encore dans l atmosphère des matières solides, visibles, tangibles; on peut s'en convaincre en recevant dans une chambre un rayon de soleil. On y voit s'agiter une multitude de petits corpuscules. Il y a aussi des êtres organisés, des germes d'animaux inférieurs. C'est pour avoir méconnu la nature de ces corpuscules organisés qu'on a cru que l'air pouvait donner naissance à des êtres privés d'ancêtres. Aristote pensait qu'il suffit qu'une matière organique soit soumise à l'action de l'humidité pour qu'il s'y produise des animaux, et Van Helmont a même donné un procédé pour faire naître des souris avec du linge sale. D'un autre côté, Réaumur fit voir que le ver qui naît dans un fruit, n'est pas le produit de la décomposition de ce fruit, mais que cette décomposition, au contraire, est la conséquence du développpement de ce ver. La découverte du microscope amena celle des vibrions, des monades, des bactéries et d'une multitude de protozoaires. Beaucoup d'observateurs crurent alors à la génération spontanée; Buffon était du nombre. Néedham enfermait du jus de viande dans un ballon de verre. Il y voyait bientôt naître tout un monde et l'attribuait à l'hétérogénie. Spallanzani émit l'idée que les germes de ces animaux étaient apportés par l'air. Néedham, pour répondre à cette objection, chauffa le liquide fermentescible et obtint encore des animalcules. Il alla même plus loin, il ferma le ballon et fit bouillir le liquide; des vibrions se produisirent encore. Spallanzani ne se tint pas pour battu. Il pensa que la température n'avait pas été suffisante pour tuer les germes. Aussi laissa-t-il le liquide en ébullition pendant deux heures: aucun organisme ne se montra plus cette fois. Le même ballon ayant été ouvert et l'air extérieur ayant pu y pénétrer, les vibrions y parurent alors. On regarda cette expérience comme concluante, bien que Néedham déclara que l'air avait dû être altéré pendant l'expérience.

Les choses en restèrent là jusqu'en 1835. C'est alors que Schwann fit une expérience célèbre. Il introduisit dans un ballon une macération qui pouvait contenir des germes. Pour détruire ceux-ci, le liquide était soumis à une longue ébullition. Pendant cette ébullition, le ballon était mis en rapport avec un tube chauffé au rouge; le feu était alors éloigné du liquide et l'air ne pouvait pénétrer dans le ballon qu'en traversant le tube rougi. Les germes que cet air pouvait contenir étaient détruits avant leur arrivée au ballon. Celui-ci était alors fermé à la lampe et abandonné à lui-même. Aucun signe de vie ne s'y manifesta, même au bout de plusieurs années. On voit donc que l'hypothèse de la génération spontanée ne peut être soutenue. Cette discussion était inconnue d'Appert, qui eut l'idée d'un procédé très-efficace de conservation des matières organiques. Voici en quoi il consiste: On met dans une boîte de fer-blanc les substances à conserver, on soude à l'étain, puis la boîte est portée et maintenue pendant un temps suffisant à la température de 110 degrés. Appert assure que du bouillon ainsi préparé possède encore au bout d'un an ou dix-huit mois toutes les qualités du bouillon frais. Cette grande invention reçoit tous les jours d'importantes applications en subvenant aux besoins des expéditions lointaines.

Henri Amaury.

Digitized by Google

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS.

PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE (1).

COURS DE M. CL. BERNARD

(de l'Institut).

Le plasma du sang et les globules rouges.

Le sang est un milieu intérieur dont la fonction est de nourrir les éléments histologiques, et qui contient les conditions du milieu extérieur général unies à certaines autres conditions qui lui sont propres. Ce sont surtout ces dernières que nous devons étudier.

Et d'abord, le sang se divise en deux parties : un *plasma* liquide, et des parties solides en suspension dans ce plasma.

Voici quelle est la composition du plasma du sang chez les animaux supérieurs :

A. — Composition du plasma du sang.

	Eau.
Gaz	Oxygène. Acide carbonique. Azote.
Matières albuminoïdes	Fibrine. Albumine. Caséine. Protéine. Ferments. Urée. Créatine. Créatinine. Acide urique. Acide hippurique.
Matières grasses ou analogues	Oléine. Margarine. Cholestérine. Acide oléique. Acide margarique. Acide butyrique.
Matières sucrées	Glycogène. Sucre. Acide lactique.
Matières minérales	Potasse. Soude. Chaux. Magnésie. Oxyde de fer. Sucre. Acide chlorhydrique. Acide sulfurique. Acide phosphorique. Acide silicique.

Voici maintenant quelles sont les parties en suspension dans le sang, et qui constituent de véritables éléments histologiques isolés, nageant dans ce liquide :

B. — Parties en suspension dans le plasma du sang.

Globules rouges *ou* corpuscules du sang.
Globules blancs *ou* corpuscules de la lymphe.
Granulations élémentaires.

En définitive, on peut dire qu'on trouve dans le sang tous les éléments nutritifs des êtres vivants.

Le liquide sanguin, dans son ensemble, présente une réaction alcaline assez faible chez l'homme, mais notablement plus énergique chez certains animaux : le papier de tournesol qu'on y plonge est fortement bleui. Cette réaction alcaline est constante, et elle paraît même être une condition essentielle de la vie ; car, lorsqu'on injecte des acides dans le sang des animaux, ils meurent avant que la réaction soit devenue acide. Cependant on a quelquefois dit qu'on avait trouvé le sang acide, mais ces expériences ont été faites après la mort. Dans ces conditions, le sang des veines sus-hépatiques devient très-rapidement acide, ce qui tient à l'influence de certains ferments sur le sucre qui existe dans cette région. Les muscles et les nerfs, qui présentent une réaction alcaline pendant la vie, deviennent également acides après la mort.

L'alcalinité du sang peut être augmentée par suite de certaines circonstances, et même dans des proportions très-considérables, sans que les fonctions vitales soient entravées pour cela. Ainsi, on peut injecter dans les veines beaucoup de carbonate de soude, ce qui rend naturellement beaucoup plus énergique l'alcalinité du sang. Cependant, si la quantité injectée devient par trop considérable, la fluidité du sang est modifiée, et il se produit alors une pénétration de ce liquide à travers les tissus, ce qui trouble les manifestations vitales.

Du reste, pour être exact, il ne faut pas dire *le* sang, mais *les* sangs, car la composition de ce liquide nourricier, par exemple, est très-variable chez le même individu, suivant les circonstances et l'endroit dans lequel on le prend. Lorsqu'on a commencé à faire des analyses du sang, on se contentait de dire sur quel animal on le prenait, sans s'inquiéter de son origine précise et du vaisseau où il avait été puisé. Généralement, il provenait de saignées faites aux veines du bras sur l'homme.

Mais on ne tarda pas à reconnaître qu'il fallait d'abord distinguer le sang artériel du sang veineux ; puis Simon (de Berlin), et d'autres après lui, montrèrent qu'il fallait en outre distinguer plusieurs sangs veineux différents : le sang veineux du cerveau, celui du cœur, celui du foie, celui de la rate, etc. Il faut même distinguer le sang veineux des organes suivant qu'il a été pris à l'état de repos ou de fonction de ces organes. Le sang veineux total ou moyen, tel qu'on l'obtient en tuant l'animal par hémorrhagie, a une certaine réaction, un certain degré d'alcalinité ; mais chaque sang veineux particulier a aussi sa réaction alcaline propre, de sorte qu'il y a des variations notables dans ce rapport entre les diverses régions de l'organisme. De tous les sangs veineux particuliers, le plus alcalin est celui de la rate, et le moins alcalin celui des muscles en fonction. Il y a donc production d'alcalinité dans certains points de l'organisme, et destruction partielle de cette alcalinité dans d'autres points.

Le sang doit toujours contenir une certaine quantité d'eau pour maintenir sa fluidité, car les éléments histologiques qu'il est chargé de nourrir sont tous aquatiques, et ne peuvent puiser leur élément nutritif que dans un milieu liquide. Mais, d'un autre côté, si le sang contenait trop d'eau, il en résulterait une pénétration des tissus entraînant de graves désordres organiques, comme nous l'avons déjà dit plus haut. En général, le sang contient en eau de 92 à 93 pour 100 de son poids. Du reste, cette proportion contenue dans le sang est variable comme son alcalinité, suivant l'endroit dans lequel on l'a pris.

L'eau contenue dans l'organisme s'élimine par diverses voies, notamment par l'exhalaison générale, et surtout par

(1) Voy. les nos 20, 50, 51 et 52 de la deuxième année.

Digitized by Google

l'exhalaison pulmonaire. Il y a même à cet égard une particularité qui est encore inexpliquée. Le sang veineux devrait contenir moins d'eau que le sang artériel, puisqu'il s'en est éliminé une quantité assez notable dans les poumons. Cependant des analyses montrent qu'il en contient davantage. Il faut donc qu'il se soit passé dans les poumons un autre phénomène que l'exhalation aqueuse. Quel peut être ce phénomène? Serait-ce une disparition de certaines parties solides? ou la formation d'une certaine quantité d'eau sous l'influence de la combustion respiratoire? Cette dernière hypothèse ne paraît plus guère vraisemblable aujourd'hui, puisqu'on sait maintenant que la combustion respiratoire ne s'accomplit pas dans les poumons, mais bien en très-grande partie dans les réseaux capillaires des tissus. Jusqu'ici, du reste, aucun phénomène constaté chez les êtres vivants n'autorise à penser que l'eau se forme directement et de toutes pièces dans le sang; toutes les observations l'ont constamment montré arrivant de l'extérieur.

On a constaté que le sang qui traverse une glande en sécrétion y perd exactement la quantité d'eau qui se retrouve dans l'humeur sécrétée : c'est là encore pour le sang une cause de perte d'eau dont il faut tenir compte.

Les gaz de l'air, oxygène, azote, acide carbonique, sont dissous dans le sang. Ainsi, les éléments histologiques baignés par ce liquide se trouvent donc en réalité soumis aux conditions du milieu extérieur général, de la même manière que les poissons plongés dans l'eau, où ils passent toute leur vie, sont cependant en rapport avec l'atmosphère qui leur fournit les éléments indispensables de leur respiration.

Des trois gaz principaux contenus dans l'air, l'oxygène est le gaz essentiel à la vie. On peut en trouver dans le sang artériel jusqu'à 20 pour 100 en volume. A mesure que le sang circule, cette quantité d'oxygène diminue; mais il doit encore en contenir assez en arrivant aux vaisseaux capillaires, pour que les éléments histologiques puissent y respirer.

Il ne faudrait pas croire, du reste, que cette consommation d'oxygène soit concentrée tout entière dans les capillaires; les phénomènes de la nature vivante ne présentent jamais cette rigidité et ces limites brusques et tranchées qu'on leur attribue quelquefois, parce qu'elles satisfont plus complétement l'esprit et simplifient les faits. C'est au moment où le sang sort du poumon qu'il contient la plus grande quantité d'oxygène; mais cette quantité commence à diminuer dès qu'il circule, de sorte qu'il s'appauvrit de plus en plus en oxygène à mesure qu'il avance; mais c'est dans les capillaires qu'il subit la perte la plus considérable, par suite de son contact intime et prolongé avec les tissus.

L'oxygène qui disparaît ainsi du sang y est remplacé par de l'acide carbonique. On avait voulu établir un rapport rigoureux et nécessaire entre cette perte d'oxygène et cette production d'acide carbonique; mais diverses expériences, notamment celles de M. Regnault, ont fait voir que ce rapport n'existait pas d'une manière exacte. En général, il se produit plus d'acide carbonique dans le sang veineux qu'il n'y disparaît d'oxygène, tandis que le sang artériel absorbe plus d'oxygène qu'il ne produit d'acide carbonique. Ces résultats peuvent tenir aux phénomènes de fermentation qui se produisent dans le sang et qu'il est très-difficile de distinguer des phénomènes de combustion.

Toutes ces analyses de sang sont du reste très-difficiles à faire d'une manière un peu rigoureuse. En effet, si l'on met le sang sous une cloche pour l'analyser, l'oxygène se transforme rapidement en acide carbonique, et l'analyse, si précise et si bien faite qu'elle soit, vous induit ainsi en erreur, car elle ne correspond plus qu'à un état postérieur à la mort, et non à l'état de vie de l'organisme, comme on le supposait. Il fallait donc trouver un autre moyen pour éviter cette cause d'erreur. Les expériences de Magnus étaient défectueuses, par suite des fermentations de la mousse du sang, etc.

Aussi Gay-Lussac faisait-il remarquer que c'était seulement par un artifice de calcul qu'on pouvait trouver une différence dans la richesse en oxygène entre le sang artériel et le sang veineux. Au lieu des méthodes anciennes, qui sont toutes exposées à de graves critiques, il vaut donc mieux employer le procédé imaginé par M. Claude Bernard, et qui consiste à déplacer l'oxygène par l'oxyde de carbone, qui agit sur les globules.

Nous passons maintenant aux matières albuminoïdes, et nous parlerons d'abord de la fibrine.

Bordeu appelait la fibrine de la chair coulante. Cette substance se coagule aussitôt après la mort, et le même Bordeu comparait ce phénomène à la rigidité cadavérique des muscles. Ce savant croyait, en effet, que les muscles étaient constitués par de la fibrine solidifiée. Mais Lehmann, qui a particulièrement étudié la matière musculaire, a montré qu'elle différait de la fibrine, et l'a nommée *syntonine*.

Quoique l'opinion de Bordeu ne soit pas vérifiée, la fibrine n'en est pas moins une substance très-curieuse et très-importante. On peut la considérer comme une transition entre les matières organisées et les matières simplement organiques. On sait, en effet, que nous avons divisé en trois classes les substances qui se rencontrent chez les êtres vivants : substances organisées, substances simplement organiques, substances minérales.

La coagulabilité de la fibrine est favorisée par les mêmes causes qui favorisent la rigidité cadavérique des muscles.

On a souvent dit que tous les sangs étaient coagulables, parce que tous contenaient de la fibrine. Mais Simon (de Berlin) a remarqué le premier que le sang de la veine rénale ne contenait pas de fibrine; il peut sans doute, dans certains cas, fournir un léger *coagulum;* mais jamais Lehmann ni Simon n'ont pu en extraire la moindre parcelle de fibrine. Serait-ce que la fibrine aurait disparu dans le rein pour servir à constituer certaines substances qui s'élimineraient par les urines? Cette hypothèse paraît peu vraisemblable, puisque l'urée existe toute formée dans le sang. Serait-ce, au contraire, que cette substance, en traversant le rein, perdrait simplement la propriété de se coaguler, par suite d'une modification particulière? Cette seconde supposition paraît plus acceptable que la première, sans que nous ayons d'ailleurs de preuves décisives à apporter à son appui.

La fibrine est une substance très-difficile à caractériser et à distinguer chimiquement ou physiologiquement. On ne peut, en effet, la définir exactement que par ce fait, que c'est une matière fluide pendant la vie et qui se coagule après la mort. Or, après avoir laissé du sang se coaguler et en avoir retiré la fibrine qui s'est ainsi séparée, on peut encore, en l'abandonnant à lui-même, le voir se coaguler de nouveau; mais ce qui distingue cette nouvelle coagulation de la première, c'est que cette fois on ne peut plus séparer la fibrine par un lavage, comme on le fait d'ordinaire. Il semblerait donc,

Digitized by Google

d'après ces faits, qu'il y a deux espèces de fibrines, l'une parfaitement solide et facile à séparer après la coagulation, l'autre à peine coagulable et qui se redissout facilement. Enfin viendrait l'albumine, qui n'est pas coagulable du tout.

Il y aurait donc une parenté étroite entre la fibrine et l'albumine, comme Magendie l'a du reste prouvé par ses expériences sur la défibrination du sang. Voici comment il opérait. Il prenait un chien et le saignait chaque jour pendant huit ou dix jours de suite. La fibrine contenue dans le sang de la première saignée était très-bonne; elle se coagulait vite, et une fois coagulée, on ne pouvait plus la redissoudre; elle finissait par pourrir lorsqu'on la laissait dans l'eau pendant un temps trop prolongé. La fibrine des saignées postérieures avait dû être refaite récemment; elle était donc plus jeune, et ses caractères étaient moins prononcés que ceux de la première fibrine : ainsi elle se coagulait plus lentement, et lorsqu'on la chauffait pendant longtemps dans l'eau, elle finissait par se redissoudre comme du blanc d'œuf. Enfin, la fibrine des dernières saignées se redissolvait très-facilement.

Dans cet enchaînement d'idées et de faits, on pourrait admettre une modification de la fibrine qui ne serait pas coagulable du tout, et il ne serait pas impossible que la fibrine n'éprouvât dans le rein une modification qui la ferait passer à cet état, soit par une hydratation, soit par tout autre procédé.

La fibrine n'est donc pas une matière qui entre toute formée dans l'organisme; elle s'y constitue sur place. En effet, les substances protéiques que nous mangeons se transforment, sous l'influence des sucs digestifs, en une matière gélatiniforme, assez peu connue, il est vrai, mais très-différente de la fibrine, et que l'on a nommée *peptone*. Il faut donc bien que la fibrine se forme dans l'organisme lui-même. Mais où se forme-t-elle? Nous ne le savons pas. Tout ce que nous pouvons dire, c'est que la quantité de fibrine contenue dans le sang varie beaucoup, suivant les endroits où on la prend, et l'étude de ces variations pourrait peut-être conduire à déterminer son origine. 100 grammes du sang total ou moyen en renferment environ 2 ou 3 décigrammes.

Nous avons parlé jusqu'ici de la coagulabilité comme d'une propriété du sang qui se manifestait après la mort. Mais il ne faudrait pas croire que la coagulation ne puisse se produire dans le corps vivant comme dans le cadavre. La vie, en effet, est inconnue et insaisissable dans son essence; nous ne pouvons atteindre et étudier que les phénomènes physico-chimiques. Or, ces phénomènes se produisent tout aussi bien avant qu'après la mort, dès que les conditions de leur production sont réunies.

Quelles sont donc les conditions de la coagulation du sang, qui n'est, en définitive, qu'un phénomène physico-chimique particulier? La première circonstance qui produit la coagulation du sang, c'est le repos. Mais il y en a d'autres encore. Ainsi, quand on blesse les parois des vaisseaux sanguins de manière que l'épithélium soit lésé, la fibrine ne tarde pas à se coaguler. Il se produit dans ces circonstances un phénomène physico-chimique encore inconnu, peut-être une acidification de la fibrine ou la suppression d'une condition quelconque de sa solubilité. Il se produit des faits de même genre dans les anévrysmes. On sait, en effet, que la blessure de la paroi d'un vaisseau sanguin amène le développement d'une tumeur anévrysmale qui amène d'abord la dilatation, puis la rupture du vaisseau. Mais le point important que nous avons voulu mettre en évidence par ces exemples, c'est qu'il n'y a pas de distinction essentielle à établir, sous le rapport de la coagulabilité du sang, entre les phénomènes cadavériques et les phénomènes de la vie.

Après la fibrine nous trouvons encore en dissolution dans le plasma du sang une autre matière qui lui ressemble beaucoup; seulement, au lieu de se coaguler comme la fibrine, celle-ci reste dissoute même après la mort : c'est l'albumine. Du reste, nous ne parlerons pas plus des propriétés chimiques de l'albumine que de celles de la fibrine, car ce qui nous préoccupe si exclusivement, ce sont les propriétés physiologiques de ces substances et le rôle qu'elles peuvent jouer dans le sang.

Nous trouvons dans le sang deux espèces d'albumine, ou plutôt deux états particuliers de cette substance, l'albumine libre et l'albumine combinée. L'albumine libre serait celle qu'on obtient en faisant chauffer le sérum ou plasma du sang après la séparation de la fibrine; il se précipite alors de l'albumine qui est dite libre. Mais il reste encore dans le sang une quantité notable d'albumine qui s'y trouve à l'état d'albuminate de soude. Pour mettre en évidence et séparer cette seconde portion d'albumine, on neutralise la soude avec de l'acide acétique ou un autre acide, et en chauffant un seconde fois le sang après cette opération, on en fait précipiter l'albumine qui ne s'était pas précipitée la première fois.

L'albumine du sang des animaux supérieurs ne contient que 1,3 pour 100 de soufre, tandis que l'albumine du blanc d'œuf, chez le poulet, par exemple, en contient de 4 à 5 pour 100. Cette différence notable de constitution chimique doit correspondre sans doute à des différences physiologiques. L'albumine qu'on trouve dans le sang doit être le produit d'une sécrétion interne; elle est destinée à nourrir les éléments organiques et ne sort pas normalement du sang où elle a pris naissance. En injectant de l'albumine de blanc d'œuf dans le sang, M. Claude Bernard a toujours vu que cette albumine n'y restait pas; elle passait dans les urines. Berzelius en tira cette conséquence que l'albumine de blanc d'œuf ne devait pas être la même que l'albumine du sang, car autrement, dit-il, on ne comprendrait pas pourquoi elle ne resterait pas dans le sang lorsqu'elle y a été injectée.

Toutefois, cette différence peut tenir à d'autres causes qu'à une différence de nature ou de constitution de ces deux substances. En effet, l'albumine de l'œuf pourrait peut-être s'injecter et rester dans le sang, si on la prenait à son état ordinaire; mais, dans ces conditions, elle obstruerait certainement les vaisseaux capillaires et arrêterait la circulation. On est donc obligé de la dissoudre, de la dissocier dans de l'eau; puis on filtre : on obtient ainsi de l'albumine à un nouvel état de dissolution, et c'est cette albumine qu'on injecte dans le sang. Or, ces conditions opératoires ont ici une grande importance, car le sérum du sang traité de la même manière et injecté ensuite dans les veines laisse également passer son albumine dans les urines.

A quoi peut tenir un pareil résultat? Pourquoi et comment l'albumine même du sang peut-elle leur devenir étrangère, de manière à s'en éliminer rapidement ou même, dans certains cas, à produire des accidents? M. Claude Bernard croit que l'explication de ces phénomènes se trouve dans les expériences de Schmidt. D'après ce chimiste, l'albumine dite libre du sang ne le serait pas en

Digitized by Google

réalité; elle serait en combinaison avec le chlorure de sodium qui existe en grande quantité dans le sang. Seulement, le chlorure de sodium ne la retenant pas très-fortement, elle précipiterait par la chaleur comme nous l'avons vu plus haut, tandis que l'autre partie de l'albumine, — celle qu'on appelle albumine combinée et qui se trouve à l'état d'albuminate de soude, — étant beaucoup plus fortement retenue, ne peut se précipiter par la chaleur que si l'on a eu préalablement la précaution de neutraliser la soude par un acide, ainsi que nous l'avons dit tout à l'heure.

On a constaté, en effet, que lorsqu'on injecte du chlorure de sodium dans le sang, il y a toujours une certaine quantité de ce sel qui passe dans les urines. Ce serait la contre-partie du phénomène indiqué par Schmidt, le chlorure de sodium ne restant aussi dans le sang qu'à la condition d'y être combiné avec l'albumine. On pourrait donc, en cherchant dans cette voie, trouver l'explication de ces phénomènes et mieux déterminer par conséquent les maladies qui sont caractérisées par des modifications de l'albumine, son élimination anormale par les urines ou autrement, comme dans l'albuminurie par exemple.

Outre la fibrine et l'albumine, on dit qu'il existe encore dans le sang d'autres substances albuminoïdes, notamment la caséine, la protéine, la gélatine. Mais ces substances sont beaucoup moins abondantes que les deux premières. Elles peuvent, du reste, donner lieu à de nombreuses objections. Lorsqu'on a fait coaguler la fibrine et précipité l'albumine du sang, on y trouve encore des substances albuminoïdes; mais on n'est peut-être pas autorisé pour cela à admettre l'existence de ces matières dans le sang, car les caractères qu'on leur donne sont fort mal définis, et de plus ils appartiennent également à d'autres substances qui existent dans le sang et qu'on ne peut définir que par leur propriété fermentescible, c'est-à-dire les ferments : ce sont là des matières azotées indispensables au sang pour la production des phénomènes qui s'y passent. En voici un exemple.

On sait que l'amidon est l'origine du sucre dans les végétaux. En effet, cette substance se transforme d'abord en dextrine, puis en glycose ou sucre de raisin, par suite d'une hydratation et aussi grâce à l'influence d'un ferment spécial qu'on a nommé diastase. Du reste, ce ferment ne cède rien à l'amidon et ne lui emprunte rien; il agit simplement par sa présence comme tous les autres ferments. Des expériences déjà anciennes ont établi la présence de cette matière fermentescible chez les végétaux en germination. Mais plus récemment divers expérimentateurs, et notamment Magendie, ont également démontré l'existence de ce ferment dans les liquides animaux et surtout dans le sang. Il est facile de le mettre en évidence; il suffit pour cela de mêler du sang avec de l'empois d'amidon qui se transforme en sucre sous son influence. D'autres ferments existant dans le sang peuvent agir sur d'autres substances qu'on y rencontre également, les matières sucrées et les matières grasses.

On a cru pendant longtemps que toutes les substances qui existaient dans le sang devaient nécessairement provenir des aliments. Pour la fibrine et l'albumine, rien de plus simple à expliquer que leur présence dans le sang, puisque les végétaux et les animaux que nous mangeons en contiennent de grandes quantités. Mais on pensait aussi que le sucre provenait exclusivement des aliments ingérés, et en effet la théorie générale qui régnait encore universellement il y a quinze à vingt ans, prétendait que les végétaux seuls étaient capables de produire des principes immédiats, tandis que les animaux se les assimilaient pour les détruire en les restituant au règne minéral sous forme d'acide carbonique; et c'est dans ce cours circulaire de la matière que résiderait l'harmonie générale de la vie.

Nous n'avons rien à dire contre ces idées générales; mais il ne faut pas vouloir y faire plier les faits bien constatés, sans être pour cela esclave du fait brut, ce qui serait tomber dans l'inconvénient opposé. Or, il y a certainement une exception à cette loi, en ce qui concerne le sucre. Les animaux produisent du sucre comme les végétaux et en très-grande quantité. M. Claude Bernard a été conduit autrefois à le découvrir en étudiant les conditions du diabète. En effet, on n'a jamais pu prouver qu'on supprimait le diabète en supprimant complétement les matières sucrées de l'alimentation. Il faut donc que le sucre se produise à l'intérieur de l'organisme par une sécrétion interne.

En effet, il y a toujours dans le sang du sucre de raisin, c'est-à-dire le même sucre qu'on trouve dans les plantes en germination. Mais ce sucre n'est point semblable au sucre de canne ou de betteraves. Ce dernier n'est point propre à la nutrition, car si on l'injecte dans le sang, il passe aussitôt dans les urines comme ferait un corps étranger. En effet, le sucre ne peut servir à la nutrition qu'à la condition d'être fermentescible; or, le sucre de canne n'est pas directement fermentescible, il est seulement susceptible de se transformer en sucre de raisin pour subir ensuite, sous ce nouvel état, la fermentation alcoolique ou autre. Aussi a-t-on constaté chez la betterave, dans la seconde année de son existence, que lorsque le sucre monte dans la tige pour la nourrir, il se transforme alors en sucre de raisin.

Chez les animaux adultes, le sucre se forme dans une glande à sécrétion interne particulière, le foie. Le foie est en réalité une glande double; il est formé de deux glandes dont les éléments anatomiques sont distincts, bien que les deux masses soient enchevêtrées et intimement mêlées ensemble. Les veines sus-hépatiques qui recueillent le sang au sortir du foie sont donc les plus riches en sucre, puis à mesure qu'on s'éloigne, la quantité de sucre diminue comme diminue la quantité d'oxygène à mesure qu'on s'éloigne des poumons. La proportion de sucre contenue dans le sang est donc fort variable, elle peut s'élever à 5 pour 100, et s'abaisser jusqu'à 0,5 ou même 0,1 pour 100. C'est naturellement le sang de la veine porte qui en possède le moins, et il peut même n'en pas contenir du tout chez les animaux en abstinence. C'est là un résultat qui n'a plus rien d'étonnant quand on a prouvé directement que le foie était le seul ou au moins de beaucoup le principal organe producteur de sucre chez les animaux.

Il se produit dans les cellules du foie de l'amidon qui, au travers des minces parois de ces cellules, se trouve en contact avec le sang des vaisseaux capillaires que lui apporte la diastase. Il se produit là des circonstances particulières qui expliquent certaines difficultés. L'amidon est une substance insoluble et qu'on peut retirer telle du foie des animaux comme des tissus végétaux. Cette substance ne devient pas d'emblée du sucre de raisin; elle se transforme d'abord en dextrine, et même, avant d'arriver là, M. Béchamp a montré qu'elle passait par un autre état encore, celui d'amidon soluble.

Il est plus difficile de séparer l'amidon insoluble chez les ani-

Digitized by Google

maux à sang chaud, parce que tous les phénomènes s'y produisent avec une trop grande activité, et qu'on n'a pas ainsi le temps de saisir cet amidon avant qu'il se soit transformé. Mais on peut le faire plus aisément en prenant des animaux à sang froid chez lesquels les manifestations vitales ne changent pas de nature, mais sont beaucoup plus lentes, cette fonction subissant comme toutes les autres l'influence de l'abaissement de la température. Mais outre cet amidon soluble il y a aussi, comme nous venons de le dire, de l'amidon insoluble ou du glycogène qui voyage avec le sang et peut ainsi se déposer dans certains organes, comme les muscles, par exemple, et s'y transformer ensuite en sucre. Seulement, il ne faudrait pas se laisser tromper par ces apparences et croire que tous ces organes ont normalement, comme le foie, la propriété de produire du sucre.

Les considérations qui précèdent montrent que le sang n'est pas la représentation exacte des aliments, comme le disaient les anciens physiologistes, qui croyaient que le chyle était la quintessence des aliments et que c'était lui seul ensuite qui formait le sang. Si ces idées étaient exactes, on pourrait faire varier la composition du sang en faisant varier l'alimentation; ce qui n'est pas vrai du tout, car, à ce compte, les carnivores qui mangent beaucoup plus de matières azotées que les herbivores devraient avoir aussi bien plus de matières azotées dans le sang, et l'expérience ne l'a pourtant point montré ainsi. Sans doute le sang provient des aliments, car il ne peut pas se faire avec rien; mais les principes immédiats n'y entrent pas tout formés; ils s'y constituent sous des influences spéciales. En un mot, le sang est un produit de sécrétion formé par l'organisme lui-même. Nous venons d'indiquer quelle était l'origine du sucre. On ne sait pas encore d'où viennent l'albumine et la fibrine, mais on finira sans doute par le découvrir un jour ou l'autre.

Nous arrivons maintenant aux matières grasses contenues dans le plasma du sang. Ces matières proviennent des aliments. Elles sont émulsionnées dans le duodénum et l'intestin grêle par le suc pancréatique, puis absorbées par les vaisseaux chylifères, espèces de vaisseaux lymphatiques qui se réunissent au canal thoracique et vont se déverser dans le sang de la veine sous-clavière gauche.

Le chyle serait donc l'origine de la graisse du sang ou au moins de la graisse neutre ou émulsionnée. Lorsqu'on prend du sang pendant la digestion et qu'on en sépare le sérum, on trouve à ce sérum une apparence laiteuse ou opalescente due à la grande quantité de graisse émulsionnée qu'il contient. Au contraire, le sérum du sang recueilli à jeun ne présente aucune opalescence. Comme c'est d'ordinaire dans ce dernier état qu'on pratique les saignées sur l'homme, — surtout ce qu'on appelait autrefois les saignées de précaution, — on a rarement eu occasion d'observer chez lui le phénomène d'opalescence du sérum dont nous parlons. On l'a fait quelquefois pourtant dans certaines saignées pratiquées à la suite d'accidents. Mais c'est surtout dans des expériences sur des animaux que ces observations ont été suivies régulièrement et avec soin.

Cette opalescence du sérum peut devenir très-considérable dans certaines conditions et arriver même à masquer plus ou moins la couleur naturelle du sang. Ainsi, M. Persoz a montré que les oies en graisse ont un sang blanchâtre, par suite de la grande quantité de graisse chyleuse qu'il contient. On peut, du reste, donner artificiellement au sang une teinte de ce genre en y mêlant une certaine proportion de chyle.

Les matières grasses ne sont pas destinées à être éliminées à l'extérieur, cela arrive cependant dans certaines circonstances pathologiques. L'élimination de la graisse se fait alors par les urines. Des phénomènes de ce genre s'observent surtout chez des créoles et des habitants des pays chauds; mais alors ce n'est pas seulement la graisse, ce sont aussi d'autres substances qui s'éliminent du sang par les urines.

Nous disions tout à l'heure que la graisse du sang semblait n'être autre chose que de la graisse des aliments ingérés par l'animal. Que devient cette graisse des aliments ainsi introduite dans l'intestin? Elle ne se combine pas ni ne s'associe à aucune autre substance pour passer dans les chylifères; elle y passe avec sa nature chimique propre en subissant seulement un phénomène physique, l'émulsion. On a reconnu dans le chyle les graisses mêmes données aux animaux, le beurre, par exemple, et ayant fait manger de la graisse chlorée à un animal on a pu retrouver cette graisse avec tous ses caractères dans le chyle.

Mais si la graisse des aliments n'éprouve aucune modification en devenant le chyle, il n'en est plus de même lorsque le canal thoracique l'a déversée dans le sang. Là se produit un phénomène chimique intéressant. Dans le sang, en effet, les différentes espèces de graisse se transforment en savon, principalement sous l'influence de la soude qu'elles y rencontrent, et c'est ainsi que prennent naissance des oléates de soude, des margarates de soude, etc.

On a encore trouvé dans d'autres matières grasses d'une nature particulière, par exemple l'élaïne, la cholestérine qui existe en quantité un peu plus considérable dans le sang sortant du foie, etc. Mais tout ce qui concerne ces substances est encore trop discuté pour qu'il y ait lieu de s'en occuper ici.

Nous passons donc de suite à l'étude d'une autre série de substances qui présentent un tout autre caractère et remplissent de tout autres fonctions que les substances que nous avons étudiées jusqu'ici. Ces substances, en effet, sont toutes des principes immédiats servant à la nutrition des éléments organiques. Les substances dont nous devons nous occuper maintenant ne sont plus des substances nutritives; elles représentent, au contraire, pour ainsi dire, les excréments rejetés par les éléments organiques. C'est même parce qu'il contient des substances de ce genre que le sang est à tous les points de vue un véritable milieu; les éléments organiques y trouvent leur nourriture et y rejettent leurs excréments, absolument comme fait un animal aquatique dans l'eau où il vit. Il y a donc à la fois dans le sang des matières accrémentitielles et des matières excrémentitielles.

Ce sont donc les matières excrémentitielles qui doivent nous occuper maintenant. Ces matières sont l'urée, l'acide urique, l'acide hippurique, la créatine, la créatinine et aussi, suivant certains physiologistes, l'acide lactique, parce qu'il se trouve dans les urines en certaine quantité.

De toutes ces matières l'urée est la plus importante. La proportion de cette substance contenue dans le sang est assez considérable et s'élève en moyenne, suivant certaines personnes, à 0,016 pour 100. Mais cette quantité est très-variable suivant les circonstances dans lesquelles on opère, et ici plus encore qu'autre part les moyennes ne signifient rien. L'urée étant soluble dans l'alcool, on profite de cette propriété pour

Digitized by Google

extraire du sang et la doser. A cet effet, on jette le sérum dans l'alcool qui retient l'urée en dissolution, puis on précipite l'urée en employant généralement le procédé de Liebig, c'est-à-dire par le nitrate de mercure. On peut ainsi mettre en évidence les traces les plus minimes de cette substance. Les méthodes qu'on appliquait autrefois pour le dosage de l'urée étaient beaucoup moins sensibles.

L'histoire de l'urée a présenté un intérêt tout particulier pour la physiologie. On croyait autrefois — et cette croyance était passée à l'état de théorie — que tous les produits de sécrétion existaient tout formés dans le sang et que les glandes ne faisaient que l'en séparer; le mot sécrétion (*secernere*) était du reste très-juste, puisqu'il n'indiquait en effet qu'une simple séparation. Ainsi, d'après ces idées, la pancréatine, la ptyaline, la pepsine, l'urée, etc., tout existait dans le sang; on chercha même à y trouver des animalcules spermatiques, toujours en supposant que le testicule comme les autres glandes n'était simplement qu'un appareil de filtration laissant passer certaines substances et retenant les autres.

Malheureusement, on ne parvenait pas à trouver d'urée dans le sang, et les adversaires de la théorie dont nous venons de parler s'appuyaient naturellement sur ce fait pour soutenir qu'elle était formée par les reins. Mais si l'on ne trouvait pas l'urée dans le sang, c'était simplement parce que les méthodes qu'on employait n'étaient pas assez sensibles pour mettre en évidence de faibles quantités de cette matière.

MM. Prévost et Dumas firent alors une belle expérience pour établir la présence de l'urée dans le sang. N'ayant pas de réactifs assez sensibles pour accuser les faibles quantités d'urée que contenait ce liquide normal, ils cherchèrent à augmenter la quantité d'urée elle-même en la forçant à s'accumuler dans le sang; pour arriver à ce but, ils rendirent impossible l'élimination de l'urée en extirpant les reins. Le résultat de cette expérience fut décisif. L'acide nitrique qui à l'état normal ne décelait pas la présence de l'urée dans le sang, parce que sa sensibilité n'était pas assez grande pour cela, devint immédiatement capable de le faire, grâce à l'augmentation de la proportion d'urée contenue dans ce liquide.

M. Claude Bernard répéta ces expériences, et tout en vérifiant les résultats principaux, il fut arrêté par un point de détail. MM. Prévost et Dumas avaient calculé d'après leurs expériences qu'un chien produisait 6 grammes d'urée en vingt-quatre heures, et cependant, vingt-quatre heures après l'extirpation des reins, l'acide nitrique n'accusait pas encore la présence de l'urée dans le sang. On ne pouvait ici accuser la sensibilité du réactif, car 6 grammes d'urée, c'est six fois la quantité nécessaire pour que le procédé par l'acide nitrique indique la présence de cette matière. M. Claude Bernard mit ce fait hors de doute en injectant 1 gramme d'urée dans la veine jugulaire d'un animal, et l'acide nitrique indiqua immédiatement la place de cette urée dans le sang.

Cependant les résultats obtenus par MM. Prévost et Dumas n'étaient pas inexacts; et si l'acide nitrique n'indiquait pas encore la présence de l'urée dans le sang d'un animal qui avait subi la néphrotomie depuis plus de vingt-quatre heures, cela tenait à ce qu'une grande partie de l'urée produite dans cet intervalle s'était éliminée. M. Claude Bernard a montré en effet que l'urée s'élimine par bien d'autres voies que par l'urine, et notamment qu'il s'élimine par les sécrétions intestinales, la salive, la sueur, etc. Aussi l'animal auquel on a enlevé les reins a-t-il toujours l'estomac plein de liquides. Après la néphrotomie, l'élimination de l'urée se fait donc par ces diverses voies accessoires tant que l'animal est vigoureux; mais lorsqu'il s'affaiblit l'élimination ne se fait plus, et c'est alors seulement que l'urée s'accumule dans le sang en quantités considérables.

Il est donc parfaitement démontré aujourd'hui que l'urée existe toute formée dans le sang et que les reins n'ont pas d'autre fonction que de l'en séparer. Mais il ne faudrait pas généraliser cette théorie et croire que toutes les sécrétions sont dans le même cas. Nous ne faisons qu'indiquer maintenant ce point sur lequel nous reviendrons plus tard.

Les matières excrémentitielles, lorsqu'elles restent et s'accumulent dans le sang, produisent des maladies de divers ordres, l'urémie par exemple. Pour les matières accrémentitielles, au contraire, c'est leur élimination qui occasionne des troubles pathologiques. Cette différence est du reste très-naturelle et pouvait se pressentir, car les matières accrémentitielles doivent nécessairement exister dans le sang pour nourrir les éléments organiques, tandis que les matières excrémentitielles doivent être rejetées, puisqu'elles ont déjà servi à la vie et y sont devenues impropres.

Aussi lorsque, par suite d'un trouble pathologique quelconque, l'élimination des matières excrémentitielles par les voies normalement destinées à cet usage vient à s'arrêter, l'organisme s'efforce d'abord d'y suppléer en éliminant ces matières par d'autres voies. Ainsi dans les maladies qui sont caractérisées par une accumulation d'urée dans le sang, cette urée s'élimine d'abord par les intestins et occasionne ainsi des troubles digestifs divers, des inflammations intestinales, etc.

L'urée est certainement un produit d'oxydation des matières azotées.

La nutrition n'est pas un phénomène discontinu, comme l'a dit Cuvier. En effet, quand on ne mange pas, la nutrition n'est pas interrompue pour cela, la digestion seule s'arrête et l'on se nourrit alors de son sang. Tous les animaux sont donc au fond carnivores, au moins à certains moments. Ainsi un lapin à jeun présente tous les caractères des carnivores, et notamment son urine et son sang contiennent beaucoup plus d'urée qu'à l'état normal. Le sang est donc un réservoir nutritif où puise l'animal, et lorsqu'il meurt de faim, c'est que ce réservoir est épuisé.

La créatine et la créatinine existent aussi dans le sang, mais en quantités beaucoup plus faibles que l'urée, et elles ne paraissent avoir qu'une importance secondaire dans les phénomènes qui s'y passent.

Il ne nous reste plus, pour épuiser la liste des substances contenues dans le plasma du sang, qu'à parler des matières terreuses.

En brûlant le plasma du sang, on obtient, comme résidu, des cendres qui sont constituées par des matières minérales; mais il ne faut pas oublier que ces cendres ne représentent pas exactement toutes les substances minérales existant dans le sang, car certains corps ont pu se volatiliser. Sur 100 parties de cendres, Schmidt a obtenu 0,85 parties de cendres, constituées par divers corps; mais ces corps ne se trouvent pas dans le sang à l'état de liberté, comme sembleraient l'indiquer les résultats de ces analyses, mais bien à l'état de combinaisons entre eux. On peut, en alliant les bases fortes avec les acides forts, imaginer une liste possible de ces combinaisons;

Digitized by Google

mais on ne peut pas déterminer ainsi d'une manière sûre l'état réel de ces divers corps dans le sang.

Schmidt a remarqué que les données fournies par ces analyses n'indiquaient pas une quantité d'acides suffisante pour saturer toutes les bases, résultat qui s'accorde, du reste, avec l'alcalinité du sang. En outre, ces matières terreuses ne se trouvent pas dans le plasma du sang comme dans une solution aqueuse simple, et il est probable qu'elles s'unissent à des matières organiques. Ainsi nous avons déjà vu qu'il y avait dans le sang de l'albumine à deux états distincts : de l'albumine libre et de l'albumine combinée, que l'on ne pouvait extraire qu'en saturant préalablement par un acide la soude que l'on suppose unie à l'albumine. On croit qu'il existe, en outre, dans le sang un phosphate de chaux, d'albumine et de magnésie. Enfin, le chlorure de sodium qui existe dans le sang doit, d'après M. Claude Bernard, s'y trouver en combinaison avec des matières organiques.

On a soutenu que l'acide carbonique du sang n'était pas en combinaison avec la soude parce que les cendres ne produisaient point d'effervescence lorsqu'on les chauffait; mais cette objection ne prouve rien, car en chauffant le sang on a pu en faire sortir l'acide carbonique.

Liebig fait une autre objection : il dit que si l'on rend le sang légèrement acide sans cependant le faire coaguler, — ce qui est possible avec certaines précautions, — et que l'on y verse ensuite un acide, on n'en voit point sortir d'acide carbonique, ce qui ne manquerait pas d'arriver s'il y avait un acide dans la liqueur, car l'acide carbonique serait chassé de sa combinaison. Mais on a répondu à l'objection de Liebig que si l'acide carbonique ne s'échappait point, bien qu'il fût mis en liberté, c'est qu'il se dissolvait dans le sérum du sang, et l'on a prouvé directement l'exactitude de cette explication en ajoutant artificiellement dans du sérum une certaine quantité de carbonate de soude, et lorsqu'on y versa un acide il ne se produisit aucun dégagement d'acide carbonique.

M. Claude Bernard croit donc que le sang contient l'acide carbonique comme l'albumine à deux états distincts : à l'état de liberté et à l'état de combinaison ou de carbonate.

Voilà tout ce que nous avions à dire des matières minérales contenues dans le plasma du sang. On trouve bien encore dans le sang d'autres substances minérales, du fer par exemple, mais il est attaché aux globules rouges, et nous en parlerons plus tard à cette occasion. On a prétendu, il est vrai, qu'il y avait aussi du fer dans le plasma du sang; mais les résultats que l'on a invoqués doivent tenir à des erreurs d'expérience. En effet, lorsqu'on laisse les globules séjourner longtemps dans le plasma, un partie du fer qu'ils contiennent peut y rester.

On a prétendu aussi qu'il y avait dans le sang du manganèse et du cuivre; mais ces métaux, que l'on y trouve accidentellement, ne font point partie de sa constitution normale.

Nous avons dit que dans le plasma du sang, dont nous venons de terminer l'étude, se trouvaient des parties solides nageant, pour ainsi dire, dans le liquide, et non plus en dissolution comme toutes les substances précédentes. Ces parties solides, ce sont surtout les globules, et de tous les éléments du sang, aucun n'égale celui-là en importance : car chez les animaux supérieurs le sang privé de globules aurait perdu du même coup ses principales propriétés vitales. Aussi, pour opérer d'une manière utile la transfusion du sang, faut-il que le sang transfusé le soit avec ses globules; toutes les autres parties, même la fibrine, ne suffiraient pas sans les globules.

Ces parties solides, en suspension dans le plasma du sang, sont d'abord les globules rouges, puis les globules blancs ou corpuscules de la lymphe et enfin des granulations diverses. Les globules rouges nous occuperont surtout, à cause de leur grande importance et des fonctions qu'ils remplissent; c'est à eux notamment qu'est due la coloration rouge du sang. Les globules rouges caractérisent le sang des vertébrés, car si les annélides ont également un sang rouge, cette coloration tient chez eux à des causes toutes différentes.

On a cherché, par différents moyens, à calculer le nombre des globules existant dans le sang. Pour cela, on a commencé par mettre une goutte de sang sur le porte-objet du microscope pour compter directement les globules qui s'y trouvaient; puis, on a déterminé le nombre de gouttes nécessaire pour faire un centimètre cube, et enfin le volume total du sang. On est arrivé ainsi à des nombres extrêmement élevés, puisqu'un centimètre cube contient déjà plusieurs millions de globules.

Les globules du sang sont de véritables cellules organisées et vivantes, des cellules sanguines, des éléments histologiques en suspension dans le sang. Leur forme peut varier suivant l'espèce des animaux que l'on considère; mais elle est très-fixe dans la même espèce. Chez les oiseaux, les reptiles et les poissons, les globules sont elliptiques; chez les mammifères, au contraire, ils sont ronds, excepté dans la tribu des camélidés, où ils sont également elliptiques, d'après les observations de Mandl; mais un noyau n'existe pas dans la classe des mammifères, et il n'y a point des noyaux de globules comme chez les oiseaux, les reptiles et les poissons.

On avait soutenu autrefois, sous l'empire d'idées vitalistes absurdes, que les globules devaient être une modification morbide qui se produisait lorsque le sang était sorti des vaisseaux. A cette époque on ne connaissait pas encore l'état du sang dans les vaisseaux; mais depuis on a montré directement les globules dans les capillaires de la patte chez les grenouilles vivantes. Des médecins objectèrent alors — et M. Claude Bernard entendit lui-même émettre plus d'une fois cette opinion — que la démonstration n'était pas satisfaisante, parce que l'on n'avait opéré que sur des batraciens et non sur des mammifères. Il fallut, pour triompher de ces dernières résistances, montrer les globules du sang dans les vaisseaux du mésentère d'un lapin et sur les oreilles de souris.

Nous dirons que les globules sont ronds ou elliptiques; cela n'est vrai que lorsqu'on les considère en coupe, car ils sont toujours aplatis et présentent à peu près la forme d'un disque. Dans les globules elliptiques, le noyau est toujours apparent. Du reste, il ne faut pas s'en rapporter d'une manière absolue aux formes extérieures, car les globules du sang des poissons, par exemple, qui sont elliptiques, deviennent facilement ronds lorsqu'on les observe dans l'eau, puisqu'ils se gonflent en absorbant du liquide. Mais on les reconnaît à leur noyau.

Quant au volume des globules, il varie beaucoup, mais reste toujours trop petit pour que l'on puisse les apercevoir autrement qu'au microscope. Cependant certaines personnes ont prétendu que les globules les plus gros étaient visibles à l'œil nu pour des vues très-perçantes. On a prétendu que la grosseur des globules des différents sangs était proportionnée à l'abaissement des animaux dans l'échelle zoologique, on peut dire la série des vertébrés, puisque c'est seulement dans cet embranchement du règne animal que le sang est pourvu de

Digitized by Google

globules. D'après ces idées, la grosseur des globules du sang serait donc un signe d'infériorité.

Les globules les plus gros sont ceux des poissons et des reptiles, puis viennent ceux des oiseaux, et enfin ceux des mammifères, qui sont les plus petits de tous. Ce n'est pas tout à fait l'ordre de l'échelle zoologique, car les phénomènes vitaux sont plus actifs chez les oiseaux que chez les mammifères, et cependant, ici, au point de vue de la petitesse des globules sanguins, les mammifères passent avant les oiseaux. Chez l'homme, la surface circulaire des globules a un diamètre de $0^{mm},0083$ ou un cent-vingtième environ. Chez la grenouille, le plus grand diamètre de la surface elliptique a $0^{mm},027$ ou un trente-septième et le plus petit $0^{mm},013$ ou un soixante-quinzième; c'est donc quatre fois environ la grandeur des globules de l'homme. Les dimensions sont à peu près analogues chez les autres batraciens; elles sont environ moitié moindre chez les oiseaux; les reptiles et les poissons doivent être placés, sous ce rapport, entre les batraciens et les oiseaux, car les dimensions des globules du lézard, par exemple, sont environ les deux tiers de celles des globules de grenouille.

Les globules se crispent lorsqu'on les soumet à l'action de diverses substances et leur enveloppe forme alors de nombreux replis sinueux, comme les rides d'une écaille de noix, par exemple.

Les globules sont les parties les plus essentielles du sang chez les animaux supérieurs, car dès qu'il en est privé ce liquide perd ses propriétés vitales. Or, nous verrons qu'on peut supprimer physiologiquement les globules sanguins en les empoisonnant par l'oxyde de carbone. On a aussi essayé de les séparer par divers moyens physiques pour examiner à part leurs propriétés. Mais c'est là un résultat assez difficile à obtenir. On a cherché notamment à y arriver en ralentissant la coagulation de la fibrine pour laisser aux globules — dont la densité est un peu supérieure à celle du plasma — le temps de se déposer au fond du liquide avant d'être pris dans le réseau de la fibrine en coagulation.

M. Hoppe-Seyler a eu recours à des moyens chimiques pour arriver au même but, le ralentissement de la coagulation. Il opérait avec du sang de cheval, qui, naturellement, se coagule déjà d'une manière fort lente; et, en le plaçant dans une éprouvette un peu élevée, il obtenait ainsi sa séparation en trois couches: la couche supérieure était de la fibrine, la couche du milieu était formée par du sérum; et enfin, au fond du vase se trouvaient les globules, plus ou moins mêlés de sérum. Il analysait alors la fibrine, puis le sérum et en dernier lieu les globules; puis il retranchait des résultats fournis par cette dernière analyse ce qui appartenait aux deux couches supérieures, et il déterminait ainsi la composition des globules.

C'est en opérant par la même méthode que Schmidt a pu constater qu'il n'y avait à peu près que du carbonate de soude, comme sel alcalin, dans la partie supérieure et médiane de l'éprouvette qui correspond au plasma du sang, tandis que la partie inférieure, c'est-à-dire les globules, contenait beaucoup de potasse. Mais les distinctions de toutes ces couches sont loin d'être bien nettes, et c'est là un vice capital que cette méthode ne peut guère éviter.

Enfin, Müller a employé encore un autre moyen; le froid retardant beaucoup la coagulation du sang, il a pris du sang de grenouille pendant l'hiver, — époque à laquelle ce sang, comme celui de tous les animaux à sang froid, descend à une température très-basse, — et il l'a fait passer sur un filtre; les globules de grenouille étant relativement très-gros, comme nous l'avons dit, restèrent sur ce filtre, et Müller put ainsi séparer les globules du plasma.

Les globules du sang doivent périr et se reproduire comme tous les éléments histologiques de l'organisme. En général, pour les autres organes, il y a seulement amaigrissement et non suppression totale. M. Budge dit cependant, qu'en débilitant une grenouille d'une manière prolongée on peut voir les fibres musculaires diminuer à la fois en nombre et en grosseur pour se reproduire ensuite lorsqu'on rend à l'animal une alimentation suffisante. Mais en ce qui concerne les globules du sang, il n'y a pas le moindre doute possible. Ces globules se reproduisent certainement, car MM. Claude Bernard et Magendie ont montré autrefois qu'on peut retirer d'un chien par des saignées successives, et sans le faire périr, un poids de sang beaucoup plus considérable que celui du corps tout entier. Le sang se reproduisait donc évidemment dans ces expériences, et il fallait bien qu'il se produisît avec des globules, puisque sans cela il aurait été incapable d'entretenir la vie, comme nous l'avons dit tout à l'heure.

Il fallait donc chercher à déterminer les limites de la vie des globules et de leur renouvellement. Voilà comment on s'y est pris pour cela. On a transfusé du sang de mammifères chez des oiseaux et du sang d'oiseaux chez des mammifères. Les globules n'ayant pas la même forme dans ces deux classes d'animaux (ils sont elliptiques chez les oiseaux et ronds chez les mammifères), on pouvait les reconnaître dans le sang étranger où ils avaient été transfusés, et déterminer ainsi combien de temps ils persistaient. On a constaté, en général, une durée de quelques semaines.

Ces expériences de transfusion sont, du reste, très-difficiles, et l'on avait même prétendu que le sang d'oiseau injecté chez un mammifère le tuait immédiatement. Mais on a reconnu depuis, que ce résultat, constaté en effet dans un certain nombre d'expériences, tenait à de tout autres causes, et notamment à des coagulations. Toujours est-il qu'on peut, en prenant les précautions convenables, transfuser une certaine quantité de sang d'oiseau chez des mammifères sans occasionner la mort.

Cependant, M. Claude Bernard pense que la question de la durée de la vie des globules sanguins doit être prise d'une manière plus générale, sans se placer dans des conditions anormales comme on l'a fait pour ces expériences. Quand on coupe un membre, la patte ou la queue par exemple, à une salamandre ou à un lézard, cette patte ou cette queue se reproduit dans une durée de quelques mois, durée variable, du reste, suivant les circonstances. Mais ce n'est pas à dire qu'elle se serait reproduite ainsi, c'est-à-dire renouvelée, à l'état normal; il est même certain que cette reproduction aurait été beaucoup plus lente. Il en est probablement de même pour les globules sanguins; on les force à se reproduire beaucoup plus vite qu'ils ne le feraient normalement lorsqu'on les place dans des conditions aussi spéciales que celles des expériences dont nous venons de parler.

La destruction des globules du sang donne lieu, du reste, à certaines substances particulières, et c'est là, par exemple, qu'il faut chercher la source des matières colorantes de la bile et de l'urine.

Quant à l'origine des globules du sang et à leur mode de formation, c'est une question qui est restée jusqu'ici enve-

Digitized by Google

loppée de la plus grande obscurité. Il est inutile d'énumérer les diverses hypothèses émises sur ce sujet, car aucune d'elles ne repose sur une base sérieuse et ne peut, par conséquent, nous instruire.

On a cherché à observer la formation des globules chez l'embryon, et voici ce qu'on a constaté. On voit d'abord un liquide avec des granulations, comme tous les blastèmes qui produisent des éléments organiques; puis, contre les parois des vaisseaux dans lesquels circule ce liquide, il se forme des cellules qui obstruent d'abord ces vaisseaux et finissent ensuite par se mettre en mouvement avec le liquide. Il semblerait donc, d'après ces observations, que ce seraient les vaisseaux eux-mêmes qui produiraient les globules du sang. Mais il est impossible de constater des faits du même genre chez les adultes.

On a prétendu aussi que les globules se produisaient dans le foie, parce que le sang qui sort de cet organe en contient plus que celui qui y entre. Mais ce n'est là qu'une indication, et il a été impossible jusqu'ici d'exécuter aucune expérience sérieuse à l'appui de cette théorie. Enfin, Remak (de Berlin) suppose que les globules du sang se forment par fractionnement comme tous les éléments organiques. Toutes ces hypothèses, on le voit, sont impuissantes, et la seule chose que nous sachions clairement, c'est que les globules du sang sont de véritables éléments organiques en suspension dans le plasma; cela nous suffit, du reste, pour étudier leurs fonctions.

Ce qui prouve péremptoirement que les globules du sang sont des parties vivantes, des organismes élémentaires, et non pas seulement des produits organiques, c'est qu'ils s'empoisonnent. En effet, on ne peut empoisonner que ce qui vit, puisque l'empoisonnement consiste dans la destruction de la vie; on pourra bien modifier la composition et par suite les propriétés des produits organiques, mais on ne les empoisonnera jamais, car il n'est pas possible de détruire en eux une vie qui n'y existe pas. Or, les globules du sang subissent un véritable empoisonnement sous l'action de certains gaz, l'oxyde de carbone notamment, et nous y reviendrons plus loin avec détail, en parlant des gaz du sang, car l'empoisonnement des globules du sang par l'oxyde de carbone a fourni à M. Claude Bernard un excellent moyen d'analyse des gaz du sang.

Les propriétés des globules du sang et leurs fonctions dans l'organisme sont relatives à la respiration et au transport des gaz de l'atmosphère dans le sang. Les globules du sang travaillent donc, en quelque sorte, pour les autres éléments histologiques; ceux-ci, en effet, ont besoin de beaucoup d'oxygène, et, comme il n'y a pas de liquide organique qui puisse en contenir assez, les globules sont chargés de l'emmagasiner pour le transporter dans les différents tissus, et en ramener l'acide carbonique provenant de sa fixation par le carbone.

L'activité fonctionnelle des globules du sang suit, du reste, les variations de l'activité des autres organes; quand la vie est lente comme chez les animaux à sang froid, les globules absorbent peu d'oxygène et dégagent peu d'acide carbonique; au contraire, quand le mouvement vital s'exalte, la quantité d'oxygène absorbée et celle d'acide carbonique éliminée augmentent notablement. C'est ainsi que pendant l'hiver le sang veineux des animaux hibernants reste presque rouge, parce que la vie et les fonctions des globules sont très-peu actives.

Ce sont véritablement les globules rouges qui sont chargés de remplir dans le sang les fonctions respiratoires. En effet, la respiration telle que l'a définie Lavoisier, consiste essentiellement dans une combustion des matières hydrocarbonées du sang par l'oxygène, elle ressemble donc à la flamme, si ce n'est que la combustion est lente dans un cas et vive dans l'autre. En brûlant sous l'influence de l'oxygène introduit dans le sang, l'hydrogène de ces matières hydrocarbonées fournit nécessairement de l'eau et le carbone de l'acide carbonique.

Les expériences de Lavoisier l'avaient conduit à penser que cette combustion se produisait dans les poumons; mais ces idées sont aujourd'hui complétement abandonnées, et l'on sait maintenant qu'il se passe surtout dans les poumons un simple phénomène physique d'échange entre les gaz du sang et les gaz de l'atmosphère. Le phénomène respiratoire véritable, c'est-à-dire le phénomène chimique consistant dans la combustion des matières hydrocarbonées par l'oxygène, celui-là se produit partout, car les globules du sang, organes spéciaux de cette fonction, peuvent la remplir partout où ils rencontrent des conditions convenables pour cela, et non pas seulement dans les poumons.

La respiration s'accomplit donc partout où sont réunies les conditions du phénomène; ainsi elle s'opère très-bien à travers la peau, surtout lorsqu'elle est suffisamment mince, et l'on peut citer, par exemple, la respiration cutanée des grenouilles. Comme tous les éléments histologiques, le globule du sang a sa fonction particulière; cette fonction, qui consiste à absorber de l'oxygène, il la remplit partout où se trouvent réunies les conditions de son accomplissement et la conserve même quelque temps après être sorti du corps; aussi a-t-on remarqué que dans le sang provenant des saignées les globules de la couche superficielle étaient toujours rouges. L'intensité de cette absorption d'oxygène varie, du reste, avec l'intensité des autres phénomènes vitaux, ce qui était indispensable pour maintenir l'harmonie des différentes fonctions.

L'échange du gaz intervenant dans la respiration s'opère dans les poumons. A cet effet, les parois des dernières ramifications des bronches s'amincissent énormément et ne sont plus formées que par une membrane extrêmement mince constituant les culs-de-sac pulmonaires. C'est au travers de cette membrane que s'opère l'absorption d'oxygène ainsi que l'élimination d'acide carbonique; et il faut pour cela que les globules du sang soient en contact avec l'air atmosphérique. Des conditions physiques du même genre se trouvent également réunies à l'autre extrémité du système sanguin dans les vaisseaux capillaires, parce que c'est là surtout que les globules accomplissent en plus grande partie, à l'état normal, la seconde partie de leurs fonctions, le dégagement de l'oxygène nécessaire aux éléments.

On a cru pendant longtemps qu'il y avait un rapport exact entre la quantité d'oxygène absorbée par les globules dans le poumon et la quantité d'acide carbonique exhalé par eux dans le même organe. C'est même là surtout ce qui avait fait admettre la localisation de la combustion respiratoire dans les poumons. Mais il est démontré aujourd'hui, qu'il n'y a pas entre l'oxygène absorbé et l'acide carbonique exhalé l'exacte correspondance qu'on avait imaginée, et l'on sait de plus que le rapport de ces deux gaz est variable suivant les circonstances dans lesquelles on opère. Ainsi les animaux en digestion, et surtout les animaux herbivores, absorbent une quantité d'oxygène plus considérable que celle qui corres-

Digitized by Google

pondrait à la quantité d'acide carbonique qu'ils exhalent ; à jeun c'est tout le contraire : l'oxygène absorbé ne suffirait plus à produire la quantité d'acide carbonique qui se dégage.

Aussitôt qu'ils ont absorbé l'oxygène, les globules tendent à le détruire, en le faisant servir aux combinaisons lentes qui se produisent dans le sang. De tous les corps qui peuvent ainsi résulter de la combustion des matières alimentaires, il n'y en a qu'un qu'on soit parvenu jusqu'ici à trouver dans l'organisme : c'est l'acide carbonique. Ainsi notamment on n'a pas encore pu trouver de l'eau qui ait certainement cette origine, quoiqu'il s'en produise peut-être, car toutes ces recherches sont fort délicates.

D'un autre côté, on sait que la combustion du carbone fournit de l'oxyde de carbone lorsqu'elle est difficile et se fait avec une quantité d'oxygène fort restreinte. Il semble donc qu'il devrait aussi s'en produire dans le sang lorsque la respiration est gênée soit par suite de l'insuffisance du volume d'air qui lui est offert, soit par une autre cause analogue : et ce serait même là une excellente explication de l'asphyxie ordinaire, par simple privation d'oxygène, car nous avons déjà dit que l'oxyde de carbone exerce sur les globules du sang une action très-rapidement mortelle.

Malheureusement on n'est jamais parvenu à trouver dans ces circonstances la moindre quantité d'oxyde de carbone dans le sang, et, quoiqu'on doive se défier en général des résultats négatifs, celui-ci offre une importance toute particulière, car il est certain que les plus petites traces d'oxyde de carbone existant dans le sang y détruiraient immédiatement les propriétés des globules et par conséquent seraient aussitôt mises indirectement en évidence par ce phénomène, quand même on ne pourrait pas les atteindre directement. Ainsi, en admettant que l'oxyde de carbone puisse prendre naissance dans certaines circonstances au milieu du sang par suite de la combustion respiratoire, ce serait encore un des produits de cette combustion qu'on ne serait point parvenu à retrouver et qui disparaîtrait sans qu'on sache comment.

D'ailleurs, tout en admettant ces idées de combustion, on est bien obligé d'avouer qu'elles ne suffisent pas à expliquer tout ce qu'on observe dans le sang à cet égard, et c'est un point qui exigerait de nouvelles études. MM. Regnault et Reiset, à qui l'on doit d'importants travaux sur cette partie de la physique animale, reconnaissent eux-mêmes que la combustion ne suffit pas pour rendre compte de toute la quantité d'acide carbonique qu'on trouve dans le sang. Il doit en outre s'y produire des fermentations qui jouent évidemment un certain rôle dans le développement de l'acide carbonique. Mais on sait que la fermentation et la combustion sont très-difficiles à distinguer, à tel point qu'on a même voulu les confondre absolument et n'y voir qu'un phénomène unique.

Le sang extrait des vaisseaux devient rouge quand on l'agite dans une éprouvette avec de l'oxygène ; puis si on l'abandonne à lui-même, en l'exposant au conctact de l'air, il redevient noir tout seul, sauf la couche superficielle qui reste rouge, et cette dernière particularité, comme nous l'avons déjà dit, met en évidence l'action absorbante des globules du sang sur l'oxygène de l'air. Du reste, tous les tissus absorbent de l'oxygène comme les globules eux-mêmes, et l'on peut s'en convaincre en mettant des fragments de muscles ou de glandes, par exemple, dans une éprouvette remplie d'oxygène.

Chez les animaux inférieurs, la vie étant peu active, les tissus peuvent respirer ainsi directement d'une manière suffisante soit dans l'atmosphère, soit dans le liquide nourricier ; aussi pouvaient-ils se passer de globules et l'on n'en trouve point effectivement chez eux. Pour les animaux supérieurs, au contraire, c'est tout autre chose ; la vie chez eux est beaucoup plus active et l'intensité de la respiration générale des différents tissus doit s'accroître dans la même proportion ; or, ces tissus, étant fixés au fond de l'organisme, ne peuvent aller respirer directement l'oxygène de l'atmosphère ; ils empruntent donc de l'oxygène au sang artériel, c'est-à-dire aux globules qui sont chargés de le leur apporter, parce qu'ils ont la faculté de circuler dans le plasma du sang. Ces organismes voyageurs introduisent donc l'oxygène jusqu'au fond des réseaux capillaires des tissus, où ils en abandonnent une plus grande quantité que tout autre part, parce qu'ils y séjournent beaucoup plus longtemps. Mais quand on arrête le sang pendant un temps suffisamment long dans les artères, il devient tout à fait noir avant d'arriver aux vaisseaux capillaires. Du reste, cette transformation de la couleur du sang est plus ou moins complète et plus ou moins rapide, suivant les circonstances.

Toutes les propriétés physiologiques des êtres vivants doivent se ramener en dernier lieu à des propriétés physiques ou chimiques de leurs tissus. En effet, nous ne pouvons concevoir des phénomènes autrement que comme un résultat des propriétés de la matière brute ou de la matière organisée. Les théories vitalistes ne peuvent trouver place ici, car elles ne s'appliqueraient dans tous les cas qu'à la création des êtres vivants et des différents tissus qui les composent ; mais, une fois ces tissus donnés, tous les phénomènes manifestés par les êtres vivants doivent résulter de leurs propriétés. Il n'y a pas d'autre progrès possible pour la physiologie que le développement de ces recherches qui rattachent successivement tous les phénomènes physiologiques à des propriétés physiques ou chimiques des tissus. En réalité, tous les phénomènes qui se passent dans l'organisme sont donc des phénomènes physico-chimiques ; un phénomène *vital*, suivant l'expression adoptée, n'est autre chose qu'un phénomène encore mal connu et dont les conditions physiologiques n'ont pas été analysées et déterminées.

Il faut donc trouver dans les globules du sang eux-mêmes l'explication de leurs propriétés physiologiques et de leurs fonctions. C'est ce qui a été fait d'une manière aussi complète que possible dans l'état actuel de nos connaissances, puisqu'on est arrivé au phénomène physique ultime, c'est-à-dire au point où doit s'arrêter toute investigation scientifique. Bien peu de questions physiologiques en sont encore arrivées là aujourd'hui.

Les globules du sang présentent la constitution générale des cellules organiques ; ils sont formés d'une enveloppe contenant un liquide particulier au milieu duquel se trouve un noyau chez certains animaux. Au travers de cette enveloppe il se produit des phénomènes d'endosmose qu'il est facile de constater, car les globules communiquent toujours une certaine teinte rougeâtre à l'eau dans laquelle on les plonge.

Les globules contiennent différentes matières protéiques, ou au moins des matières analogues aux matières protéiques, bien qu'elles s'en distinguent par divers caractères chimiques. Parmi ces matières, il en est une surtout qui présente une grande importance ; on lui a donné le nom d'hématoglobuline ou d'hématocristalline ; cette substance est cristallisable, et c'est la seule matière albuminoïde qui possède cette pro-

Digitized by Google

priété. M. Funke l'a observée pour la première fois dans les conditions suivantes : il prenait une petite quantité de sang qu'il mêlait avec un peu d'eau et plaçait le tout entre deux lames de verre sur le porte-objet d'un microscope. Les globules du sang disparaissaient au bout d'un certain temps et M. Funke put voir alors de petits cristaux se former à leur place. On connaît aujourd'hui plusieurs moyens pour obtenir ces cristaux d'hématoglobuline ; ils sont solubles dans l'eau, et ne précipitent point par le sublimé corrosif et l'acétate de plomb, ce qui les distingue des autres matières albuminoïdes.

Les globules du sang ont donc en quelque sorte la propriété de cristalliser, ou, au moins, cette propriété appartient à la matière qui les constitue, et, comme nous allons le voir, les caractères chimiques de cette matière expliquent le fonctionnement physiologique des globules dans la respiration.

Nous avons montré autrefois dans nos expériences sur l'empoisonnement par la vapeur de charbon, que cet empoisonnement est dû surtout à l'action de l'oxyde de carbone, car la quantité d'acide carbonique qu'on trouve dans une atmosphère asphyxiante n'est presque jamais assez considérable pour produire la mort des animaux qui la respirent, comme nous l'avons montré par des expériences directes. En effet, l'acide carbonique n'exerce une action mortelle que lorsqu'il est en quantité très-considérable dans l'atmosphère ; au contraire, des quantités très-faibles d'oxyde de carbone deviennent immédiatement toxiques, et voici comment se produit cet empoisonnement. Le gaz oxyde de carbone mis en contact avec le sang s'introduit dans les globules et en chasse l'oxygène. Nous avons constaté que c'était là un véritable déplacement chimique, car non-seulement les globules qui se sont chargés d'oxyde de carbone dans les poumons ne portent pas d'oxygène aux organes, mais encore lorsqu'ils sont revenus de nouveau dans les poumons, ils ont perdu la propriété d'absorber de l'oxygène. Lorsqu'on soumet un animal à l'action de l'oxyde de carbone, c'est donc absolument la même chose que si on lui enlevait son sang, ou au moins les éléments de ce sang qui jouent un rôle essentiel dans la respiration.

Ces expériences, comme nous l'avons déjà dit, ont été l'origine d'un procédé d'analyse du gaz du sang beaucoup plus exact que tous les précédents. On peut, en effet, en soumettant le sang à l'action de l'oxyde de carbone, en chasser tous les gaz qui y sont contenus et les doser ensuite d'une manière rigoureuse, tandis qu'avec les méthodes anciennes on n'était jamais sûr d'avoir retiré tous les gaz.

L'empoisonnement des globules du sang par l'oxyde de carbone a été expliqué chimiquement comme leur rôle dans la respiration. M. Hoppe-Seyler a constaté en effet que l'hémato-cristalline forme avec l'oxyde de carbone une combinaison définie stable qu'il est parvenu à y isoler. L'oxyde de carbone transforme en quelque sorte les globules du sang en corps minéraux inertes, et l'on comprend très-bien dès lors qu'ils deviennent incapables de remplir leurs fonctions ordinaires. L'explication de ces phénomènes est donc aujourd'hui tout à fait complète.

Mais il y a encore dans la respiration un autre phénomène qui est en quelque sorte la contre-partie de celui que nous venons d'étudier et dont il faut également chercher l'explication.

Quand l'oxygène arrive en contact avec les globules du sang dans les poumons, nous savons maintenant comment il est absorbé : c'est l'hématoglobuline qui s'en empare et se l'assimile. Mais par quel mécanisme l'acide carbonique est-il chassé de ces mêmes globules ou du liquide dans lequel ils baignent ? car c'est dans le plasma du sang qu'il se trouve en majeure partie, les globules n'en contenant jamais qu'une quantité relative minime.

M. Preyer a étudié ces faits tout récemment, et voici ce qu'il a observé : A l'état normal, l'hématoglobuline est neutre ou joue à peu près le rôle d'un corps neutre. Mais dès qu'il n'y a plus d'oxygène dans les globules, elle devient acide et tout naturellement elle réagit alors sur les carbonates qui se trouvent toujours en dissolution dans le sérum, pour en chasser l'acide carbonique, qui se trouve mis ainsi à l'état de liberté et en dissolution dans la partie liquide du sang. Puis, lorsque ce sang arrive au poumon, l'acide carbonique qui s'y était accumulé par suite de ce mécanisme, s'élimine par endosmose à travers les minces parois des culs-de-sac glandulaires, avec d'autant plus de facilité qu'il possède dans l'intérieur des vaisseaux sanguins une pression un peu supérieure à celle de l'air atmosphérique.

En résumé, les globules du sang sont des particules vivantes qui nagent dans le plasma, et servent de véhicule pour l'oxygène qui intervient dans la respiration. Mais les propriétés physiologiques de ces globules sont dues à des propriétés chimiques particulières d'une substance définie, l'hématocristalline. C'est à une conclusion de ce genre qu'il faut toujours tendre dans l'étude des divers éléments histologiques ; mais on est malheureusement encore bien loin d'être aussi avancé sur d'autres points que sur celui-là.

Les globules rouges sont certainement les corpuscules les plus importants en suspension dans le plasma du sang ; mais il y en a d'autres encore dont nous devons nous occuper un instant.

On trouve d'abord des dépôts fibrineux, ou des particules extrêmement ténues analogues à la fibrine. Ces corpuscules fibrineux sont fort mal définis, et ils se confondent probablement avec les granulations dites *moléculaires;* leur signification physiologique est du reste très-difficile à établir, et, comme ce sont les fonctions des organes bien plus que leur constitution anatomique que nous étudions ici, ces corpuscules fibrineux ne doivent pas nous arrêter longtemps : il nous suffit de les avoir mentionnés.

Les globules blancs ou corpuscules plasmatiques, encore appelés leucocytes, ont au contraire une importance beaucoup plus grande ; ces corpuscules plasmatiques existent chez tous les animaux, à la différence des globules rouges, qu'on ne trouve que chez les vertébrés ; et comme la lymphe en possède également, on leur donne quelquefois le nom de corpuscules de la lymphe ; mais il y en a dans le sang comme dans la lymphe, et cela était facile à prévoir, car on sait que la lymphe se déverse par le canal thoracique dans la veine sous-clavière gauche.

Les globules blancs sont des corpuscules organisés, des êtres vivants comme les globules rouges : tous les physiologistes sont aujourd'hui à peu près d'accord sur ce point. Mais ils se distinguent cependant des globules rouges par plusieurs particularités, sans parler bien entendu de leur couleur, qui est différente, comme leur nom l'indique assez. Si l'on met à la fois des globules blancs et des globules rouges entre deux lames de verre pour les observer au micros-

Digitized by Google

cope, on remarque bientôt que les globules rouges ont l'air d'être inertes, ils subissent les mouvements du liquide dans lequel ils sont plongés et se transportent avec lui à droite et à gauche entre les deux lames de verre; mais ils ne manifestent aucun mouvement qui leur soit propre. Les globules blancs, au contraire, se fixent aux lames de verre, et ont pour ainsi dire l'air d'y adhérer; ils possèdent du reste des mouvements propres, comme nous le dirons tout à l'heure. En général, les globules blancs sont du reste plus gros que les globules rouges dans la même espèce, et de même que ces derniers ils possèdent également des dimensions plus considérables chez les animaux inférieurs que chez les animaux supérieurs.

Les globules blancs présentent l'apparence de corpuscules parsemés de granulations; leur surface est plissée, tandis que les globules rouges ont une surface lisse dans les conditions normales. Ils affectent une forme arrondie qui peut du reste se modifier sous certaines influences; ainsi, en se fixant aux lames de verre entre lesquelles on les observe sous le microscope, ils poussent des prolongements dans certains sens, prennent une forme particulière pour revenir plus tard à leur forme primitive, et ainsi de suite. Les globules blancs sont donc de véritables infusoires vivant dans le sang, des infusoires du genre des amibes.

VARIÉTÉS.

Le Choléra à Paris, en 1832, 1849, 1853-54 et 1865.

Le choléra, dont le berceau est dans l'Inde, près des bouches marécageuses du Gange, — à en croire du moins la doctrine presque universellement acceptée, à l'heure qu'il est, par les médecins, — franchit tout à coup les limites qu'il semblait s'être imposées jusqu'alors, et, en 1817, il fait son apparition à Jessore, à Malacca, à Java (où, sur 4 millions d'habitants, il en fait périr 400 000), à Benarès, à Bornéo et au Bengale depuis Calcutta jusqu'à Bombay (1818). De là il passe aux îles Moluques, aux îles de France et de Bourbon (1819), dans l'empire des Birmans et dans la Chine, où il s'étend depuis Canton jusqu'à Pékin. Puis, s'avançant vers l'ouest, il passe en Perse (1821), de là en Arabie, à Bassora et à Bagdad; deux ans après (1823) il paraît au pied du Caucase, sur les bords de la mer Caspienne et s'avance jusqu'en Sibérie (1826) pour revenir ensuite dans le cœur de la Russie, à Saint-Pétersbourg et à Moscou (1830). L'année suivante (1831), il envahit la Pologne, la Galicie, la Hongrie, la Bohême, l'Autriche, la Prusse, passe en Angleterre, puis franchit le détroit, éclate à Calais, et arrive bientôt à Paris. C'est le 6 février 1832 que le premier cas de choléra est signalé dans cette ville; le 13 février, un autre malade succombe; le 27 mars au soir, 6 cholériques arrivent à l'Hôtel-Dieu; le 28 on en comptait 22, et le 31 il y en avait 300; douze jours après, l'épidémie était à son summum d'intensité, près de 900 décès cholériques en vingt-quatre heures, pour une population moitié moindre que celle que renferme actuellement Paris. L'épidémie, que l'on considéra comme terminée à la fin de septembre, avait enlevé 18 402 personnes, et il en mourut encore 200 environ pendant les trois derniers mois de l'année 1832.

Un certain nombre de décès dus au choléra sont encore signalés dans les années suivantes : 515 en 1833, 25 en 1834, 14 en 1835 et 7 en 1836. Toute trace de l'épidémie parut dès lors effacée, et il n'en fut plus question à Paris jusqu'en 1849.

Cette seconde épidémie part également de l'Inde, en 1845, gagne la Perse, la Russie, la Pologne, la Prusse, la Hollande, et arrive en Angleterre en 1848; dès la première semaine d'octobre, des cas de choléra sont enregistrés à Londres, et il y a 1105 décès cholériques pour toute l'Angleterre pendant les trois derniers mois de l'année 1848. L'épidémie parut alors presque éteinte dans ce pays; mais elle devait se réveiller d'une manière terrible à la fin de mai 1849, pour moissonner 2046 personnes en juin, 7570 en juillet, 15 872 en août, 20 379 en septembre, 4654 en octobre, 844 en novembre, 163 en décembre. Le 6 septembre seulement, il mourut 1121 personnes du choléra.

Arrivée en Angleterre à la fin de 1848, l'épidémie n'avait pas tardé à passer en France. Elle ravagea d'abord Lille, Calais, Dunkerque, Fécamp, Yport, puis Valenciennes, Douai, Arras; le 27 février 1849, elle se montre à Rouen, et à peine apprend-on que quelques cas se sont déclarés à Saint-Denis, à la suite, paraît-il, d'un régiment venu du Nord, que la présence officielle du choléra est constatée à Paris le 17 mars. Mais c'est seulement en mai qu'une augmentation un peu considérable se produit, et le maximum, correspondant à plus de 700 décès par jour, est atteint en juin. Cette seconde épidémie se termine en novembre, après avoir enlevé 19 184 victimes.

L'épidémie de 1853-1854 nous vient également d'Angleterre. Les premiers cas furent constatés dans ce pays vers le 20 août 1853. Le choléra fit son apparition à Paris dans les premiers jours de novembre, mais sans y produire un bien grand nombre de décès dans le cours de l'hiver 1853-1854; il fait une petite pointe vers la fin d'avril et ne commence à prendre un développement considérable qu'à partir du 1er juin, pour atteindre son maximum en août. A partir du 1er octobre, ses ravages deviennent beaucoup moins sensibles, mais ils se perpétuent, avec une très-faible intensité il est vrai, jusque dans les premiers mois de 1855. En somme, la mortalité journalière due au choléra n'atteignit jamais 140 pendant cette épidémie, et le chiffre total des décès fut de 9217.

L'épidémie qui prend fin actuellement à Paris ne nous est pas venue par l'Angleterre comme les précédentes. Parti également de l'Inde, puisqu'il est admis que c'est là son siége, le choléra trouva à la Mecque un foyer particulièrement propre à son développement, et dans les caravanes de pèlerins, qui en revinrent après les fêtes, un moyen rapide de propagation. Il envahit bientôt l'Égypte et la Turquie, arrive à Marseille avec deux vaisseaux qui ramenaient des cholériques d'Alexandrie, ravage pendant le cours de l'été les principales villes de la Provence, du midi de la France et de l'Espagne, et arrive enfin à Paris sans atteindre les villes intermédiaires. Le 23 septembre, il entre un cholérique à l'Hôtel-Dieu et un autre à la Charité. Le premier était un jeune homme âgé de dix-neuf ans, venu à pied de Montereau; le second, une femme de trente et un ans, arrivée depuis quatre jours de Marseille. Du 22 septembre au 1er octobre, 40 malades cholériques entrent dans les hôpitaux, sur lesquels 12 succombent; le 2 octobre, il y a 4 nouvelles admissions, à l'hôpital Lariboisière seulement, et l'épidémie prend bientôt un développement considérable.

Voici sa marche à partir du 6 octobre :

6 octobre,	75 décès.		3 novembre,	98 décès.	
7 —	98 —		4 —	70 —	
8 —	112 —		5 —	78 —	
9 —	150 —		6 —	? —	
10 —	183 —		7 —	? —	
11 —	165 —		8 —	? —	
12 —	191 —		9 —	? —	
13 —	180 —		10 —	49 —	
14 —	196 —		11 —	51 —	
15 —	264 —		12 —	28 —	
16 —	216 —		13 —	46 —	
17 —	215 —		14 —	36 —	
18 —	229 —		15 —	60 —	
19 —	187 —		16 —	34 —	
20 —	206 —		17 —	35 —	
21 —	224 —		18 —	40 —	
22 —	199 —		19 —	44 —	
23 —	167 —		20 —	39 —	
24 —	162 —		21 —	29 —	
25 —	153 —		22 —	32 —	
26 —	152 —		23 —	42 —	
27 —	118 —		24 —	38 —	
28 —	115 —		25 —	16 —	
29 —	103 —		26 —	19 —	
30 —	116 —		27 —	24 —	
31 —	108 —		28 —	21 —	
1er novembre,	98 —		29 —	20 —	
2 —	70 —				

Le 29 novembre, l'épidémie actuelle avait déjà enlevé près de 5600 personnes.

On trouvera, d'autre part, des courbes représentant, d'une manière continue et très-exacte, la marche de l'épidémie cholérique à Paris, en 1832, en 1849 et en 1853-1854.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Google

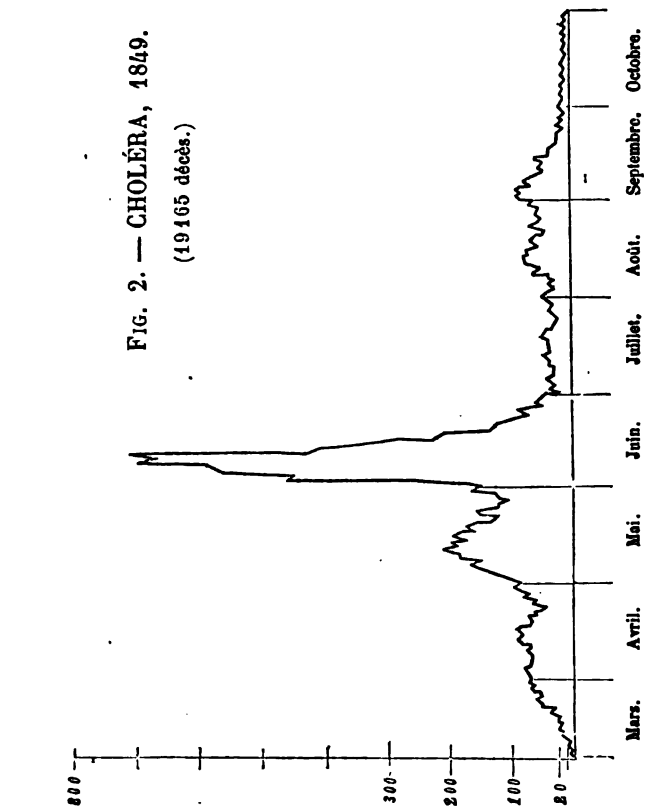


FIG. 2. — CHOLÉRA, 1849.
(19165 décès.)

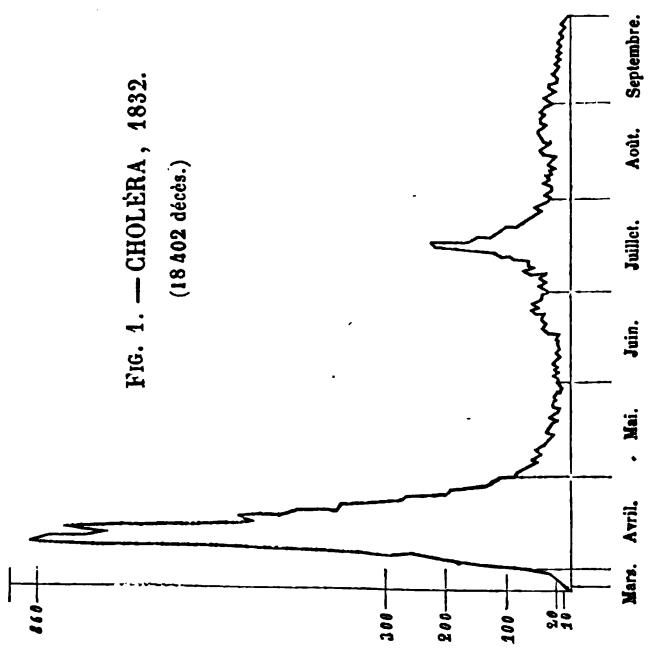


FIG. 1. — CHOLÈRA, 1832.
(18402 décès.)

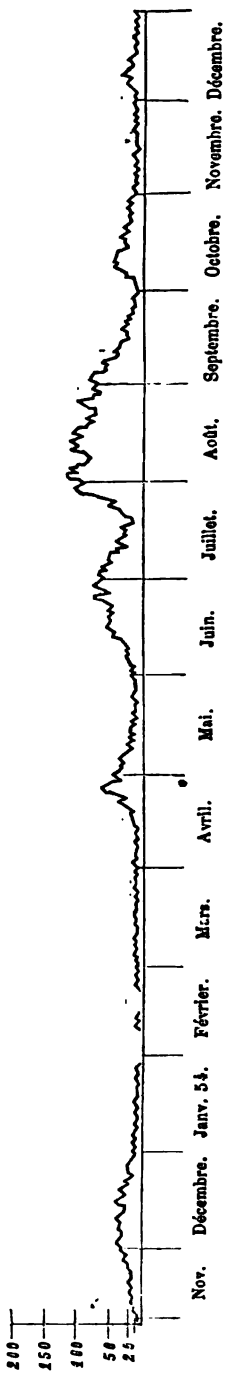


FIG. 3. — CHOLÉRA, 1853-1854.
(9217 décès).

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE NUMÉRO 2 9 DÉCEMBRE 1865

Paris, 8 décembre 1865.

Les principes et la méthode de la médecine expérimentale font chaque jour de nouveaux progrès dans le monde médical, et malgré l'influence toujours si puissante de la routine, les procédés vraiment scientifiques se substituent de plus en plus aux procédés empiriques, seuls en usage depuis tant de siècles. On comprend aujourd'hui que le meilleur moyen — et peut-être le seul efficace — de connaître les maladies pour apprendre à les guérir sûrement, c'est de les faire naître d'abord chez des animaux sur lesquels on puisse en étudier les différentes phases pour chercher à les modifier. Il y a maintenant de nombreux médecins physiologistes qui dirigent leurs études dans ce sens, et M. Claude Bernard a présenté encore, lundi dernier, à l'Académie des sciences un travail très-important entrepris dans cet ordre d'idées par un agrégé du Val-de-Grâce, M. Villemin.

Ce travail est relatif à la tuberculose ou phthisie pulmonaire, vulgairement appelée maladie de poitrine. M. Villemin est parvenu à donner la phthisie à des lapins en leur inoculant sous la peau une certaine quantité de matière tuberculeuse ramollie prise dans les poumons d'individus qui avaient succombé à la phthisie, et de vingt-quatre à trente-six heures après la mort. Deux mois environ après cette inoculation, on trouvait des tubercules visibles à l'œil nu, dans les poumons de l'animal, et quelquefois aussi dans l'intestin. Les expériences de M. Villemin ont toujours été faites d'une manière comparative. Il prenait les lapins provenant d'une même portée, en inoculait un certain nombre comme nous venons de le dire, puis les remettait avec les autres en les soumettant exactement au même régime et à la même alimentation. Les animaux inoculés devenaient toujours phthisiques, même quand ils étaient élevés dans des cages placées en plein air. M. Villemin conclut de ses expériences que la phthisie est une maladie virulente, inoculable, qui n'est pas sans points de ressemblance avec la syphilis, et que l'on pourrait surtout rapprocher de la morve et du farcin.

M. Claude Bernard a présenté, en outre, une brochure de M. Worms sur la propagation du choléra, brochure qui est la reproduction des communications faites, il y a quelque temps, par ce savant, à l'Académie de médecine. M. Worms analyse avec le plus grand soin la marche des épidémies cholériques, et il constate qu'elles se sont toujours introduites chez nous par les ports. Il examine ensuite les divers intermédiaires par lesquels la contagion cholérique peut avoir lieu, et il est amené ainsi à résumer un travail fort intéressant de M. Thiersh (de Munich), travail peu connu en France, quoiqu'il remonte déjà à dix ans, et qui, lui aussi, s'est inspiré des principes de la médecine expérimentale. M. Thiersh faisait manger à des souris des morceaux de papier imprégnés de déjections alvines de cholériques. Ces souris furent prises d'accidents cholériformes généralement suivis de mort; mais cela n'eut lieu qu'avec des déjections alvines recueillies depuis trois jours au moins et neuf jours au plus. Au delà de ces limites, les déjections étaient inoffensives, de telle sorte que le principe cholérigène semblerait ne se développer dans leur sein qu'au bout d'un certain temps et se détruire ensuite. Nous avons dit, il y a quinze jours, que M. Charles Robin venait d'entreprendre des expériences du même genre sur des chiens, expériences qui avaient également été suivies de succès.

M. Velpeau a présenté un mémoire de M. Pétrequin, dans lequel il soutient que l'éther, qui avait été d'abord employé pour rendre les malades insensibles pendant les opérations chirurgicales, est bien préférable au chloroforme, qui est maintenant presque universellement employé.

M. H. Sainte-Claire Deville a lu un mémoire dans lequel il établit l'hydraulicité parfaite de la magnésie, et montre les avantages que pourrait présenter l'emploi de cette substance, surtout dans les constructions sous-marines.

Enfin, M. Victor Meunier a présenté un mémoire sur la résistance vitale des kolpodes, dans lequel il prouve que ces petits animaux sont bien effectivement tués par l'ébullition.

ÉMILE ALGLAVE.

Digitized by Google

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS.

PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE (1).

COURS DE M. CL. BERNARD
(de l'Institut).

Le sang : les globules blancs et les infusoires hématozoaires.

Diverses espèces d'hématozoaires vivent du reste dans le sang comme d'autres espèces plus ou moins analogues vivent dans d'autres liquides. On a trouvé, dans le sang de l'homme, seulement quinze ou seize espèces différentes d'hématozoaires. Il y a donc à la fois dans le sang de l'homme et des vertébrés des globules rouges, des globules amiboïdes et

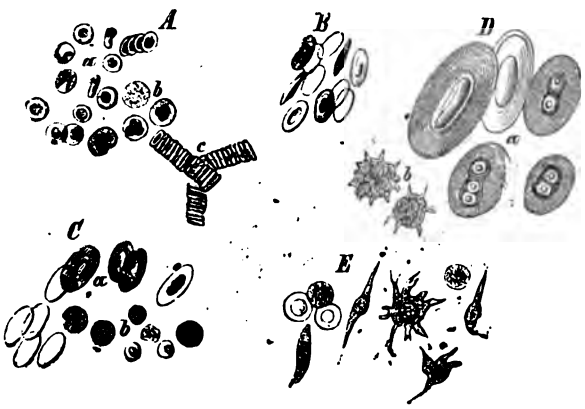


FIG. 4. — Corpuscules sanguins de l'homme, des vertébrés et des invertébrés, d'après Leydig (fort grossissement).

A. Globules sanguins de l'homme. — *a*. Globules colorés. — *b*. Globules incolores. — *c*. Globules colorés empilés.
B. Globules sanguins du pigeon.
C. Globules sanguins de la raie. — *a*. Globules colorés. — *b*. Globules incolores.
D. Globules sanguins du *Proteus*. — *a*. Globules incolores ; on voit que le noyau de plusieurs d'entre eux est sur le point de se diviser.
E. Globules sanguins des invertébrés (insectes et mollusques).

des infusoires circulant ainsi librement à travers le liquide sanguin, en se fixant aux parois des vaisseaux, tandis que les globules rouges se bornent toujours à suivre passivement le courant sanguin. Il arrive même quelquefois que ces infusoires s'accumulent dans un passage étroit et l'obstruent ainsi plus ou moins complétement.

Les globules blancs ont été, dans ces derniers temps, l'objet de beaucoup d'études. On en trouve également dans le sang, dans la lymphe et dans les liquides interstitiels, de sorte qu'ils font, pour ainsi dire, partie de tous les liquides animaux. Ils ont une forme arrondie quand ils sont morts, ce qui ne veut pas dire du tout que cette forme soit chez eux l'indice de la cessation de la vie.

On peut facilement observer, à l'aide du microscope, les changements de forme qu'ils subissent, car ces changements sont assez lents. Mais les conditions physiques au milieu desquelles ils se trouvent alors placés étant très-différentes de celles qu'ils trouvaient dans le sang à l'état normal au sein de l'organisme, ils finissent alors par mourir, et prennent une forme arrondie comme s'ils avaient subi une sorte de crispation. Ils présentent toujours cette dernière apparence dans le sang extrait depuis quelque temps des vaisseaux, et c'est, en effet, sous cette forme qu'ils furent d'abord observés et décrits. Plus tard, on opéra sur du sang frais, et l'on constata alors les formes diverses qu'ils sont susceptibles de prendre. Le fait que ces globules blancs sont des animalcules infusoires a du reste été vérifié à tous les degrés de l'échelle animale, et le liquide qui s'échappe d'un ver de terre, par exemple, lorsqu'on le pique avec une épingle, contient des petits êtres plus ou moins analogues à ceux que l'on trouve dans le sang des vertébrés.

La vitalité que conservent les globules blancs au sortir de l'organisme varie avec la place qu'occupe dans l'échelle zoologique l'animal sur le sang duquel on opère. Chez l'homme et les animaux à sang chaud, ils perdent plus vite leur vitalité ; chez les animaux inférieurs, au contraire, cette vitalité persiste plus longtemps. Les globules blancs suivent donc, à cet égard, les mêmes lois que les autres tissus vivants, nerfs, muscles, glandes, etc.

Quel est précisément le rôle de ces globules blancs ? C'est là une question fort intéressante, mais encore fort obscure. Ils sont très-nombreux dans l'organisme, et leur multiplication au delà de certaines limites occasionne même une maladie connue sous le nom de leucocythémie. Cette multiplication exagérée s'accompagne le plus souvent d'une certaine diminution dans le nombre des globules rouges. Ils sont plus nombreux d'ordinaire dans la lymphe que dans le sang, et parmi les divers sangs pris sur le même individu à des endroits différents de l'organisme, on trouve presque toujours plus de globules blancs dans le sang qui sort de la rate, du foie et des glandes en général, comme la glande thyroïde par exemple.

Ce dernier fait avait servi de point de départ à une théorie qui considérait ces globules blancs comme des globules rouges jeunes ou, si l'on peut ainsi parler, comme des larves de globules rouges. On trouvait, en effet, plus de globules blancs dans le sang veineux en masse que dans le sang artériel, et l'on supposait qu'ils se transformaient en globules rouges soit d'emblée et d'un seul coup dans les poumons, soit progressivement à mesure qu'ils cheminaient dans le sang, qu'ils s'arrêtassent ou non dans les poumons. Cette opinion est assez généralement abandonnée aujourd'hui, et la plupart des physiologistes croient maintenant que les globules rouges ont une autre origine, sans pouvoir dire précisément laquelle. Mais nous devions citer au moins une théorie qui a eu beaucoup de vogue dans la science il y a quelques années.

Les changements de forme des globules blancs sont dus à une espèce particulière de tissu contractile, la plus simple de toutes, le tissu sarcodique. On remarque dans cette matière contractile de petites granulations formées par une substance douée d'un pouvoir réfringent assez considérable pour la lumière. Ces granulations sont du reste mobiles à l'intérieur de la substance sarcodique, et elles se portent vers l'endroit où va naître un prolongement.

Lorsque la vie vient à cesser dans ces organismes qui paraissent d'une simplicité extrême, il se produit dans la substance contractile qui les constitue une sorte de coagulation qu'on a comparée avec raison à la rigidité cadavérique qui envahit le tissu musculaire après la mort. Cette substance devient alors opaque comme celle des muscles en état de rigidité cadavérique ; elle semble donc se confondre avec elle, puisqu'elle possède les mêmes propriétés.

Nous avons déjà dit que les globules blancs avaient été

(1) Voyez les nos 20, 50, 51, 52 de la deuxième année, et no 1 de la troisième.

Digitized by Google

considérés, probablement à tort, comme l'origine des globules rouges. Il est encore une autre espèce de corpuscules organiques qu'on a voulu en faire dériver, et cette fois avec plus d'apparence de raison : ce sont les corpuscules du pus. On sait en effet que lorsqu'une plaie entre en suppuration, il s'y produit un liquide particulier qu'on appelle le pus ; dans ce pus se trouvent des corpuscules de pus qu'on a regardés comme des corpuscules blancs provenant soit des vaisseaux sanguins qui desservaient les tissus violemment divisés, soit des vaisseaux lymphatiques sectionnés par la blessure. Des travaux récents ont suivi les différentes phases de la transformation des globules blancs en corpuscules du pus, de sorte que c'est là une doctrine presque universellement admise aujourd'hui.

Quant aux fonctions physiologiques des globules blancs, elles sont complétement inconnues, à tel point qu'aux yeux de certains savants il ne serait pas bien sûr que ces animalcules infusoires aient un rôle particulier à remplir dans le sang.

Les globules blancs ne sont pas les seuls hématozoaires que l'on trouve dans le sang des animaux ; il y en a beaucoup d'autres encore, et l'on en a distingué une douzaine d'espèces nettement séparées les unes des autres.

Les premiers hématozoaires que nous devrons signaler, ce sont naturellement les amibes qui se confondent, ainsi que nous l'avons dit, avec les globules blancs ; mais il y en a plusieurs espèces qui se reconnaissent à des caractères assez apparents.

L'une de ces espèces est l'*Amœba rotatoria*, observée surtout chez la grenouille, parce que les observations de ce genre sont plus faciles chez cet animal, les hématozoaires que contient son sang vivant plus longtemps hors des vaisseaux. On en a trouvé aussi chez les poissons. Cette amibe a d'ordinaire pendant la vie une forme générale un peu allongée dans son ensemble ; ses contours sont presque toujours dentelés de manière à présenter plus ou moins l'apparence d'une roue, et elle se termine par un long prolongement ou cil mobile qui produit en s'agitant une sorte de tourbillon et sert ainsi à la locomotion de l'animal. Quand la mort arrive, le premier phénomène qui la révèle est la chute de ce cil et l'amibe se pelotonne alors en une sorte de boule dont la surface est plus ou moins ridée.

Citons encore une autre espèce d'amibes qui rappellent plus particulièrement les globules blancs et qui ont presque toujours une forme ronde. On les a observées notamment chez l'homme, les grenouilles et les oiseaux.

Il y a en outre dans le sang d'autres espèces d'hématozoaires qui diffèrent tout à fait des globules blancs et présentent même quelquefois une organisation relativement assez élevée. Ce sont, par exemple, les *nématoïdes*, dont la forme allongée leur a valu aussi le nom de *filaires*. Ils ont été particulièrement observés chez les grenouilles, surtout lorsqu'elles sont un peu affaiblies, comme cela leur arrive souvent dans nos laboratoires où elles restent généralement assez longtemps sans manger. La grenouille verte (*Rana viridis*) en présente plus souvent que les autres. On en a également trouvé chez quelques mammifères comme le rat noir, le freux (*Corvus frugilegus*), etc.

Enfin, nous trouvons encore dans le sang des *paramécies*, et c'est également chez la grenouille que ces infusoires ont été observés. Cela ne doit pas nous étonner, car cet animal étant, à cause des commodités particulières qu'il offre, le sujet ordinaire de toutes les observations et de toutes les expériences, il est naturel que ce soit chez lui qu'on fasse le plus grand nombre de ces découvertes.

On ne peut pas dire que les animaux qui possèdent ces infusoires dans leur sang soient malades pour cela, et il faut admettre par conséquent que tous ces animalcules peuvent, au moins dans certaines circonstances, entrer dans la constitution normale du sang sans lui enlever ses propriétés physiologiques et par suite sans causer de trouble organique sérieux. Il est du reste d'autres infusoires qui peuvent, en s'introduisant dans le sang, y développer certaines maladies plus ou moins graves, ou qui ne s'y montrent que sous l'influence de causes pathologiques spéciales. Tous ces faits nous montrent que les liquides nourriciers des animaux, et le sang en particulier, servent à la fois de milieux pour les tissus et pour d'autres animaux qui vivent aux dépens des premiers.

Les considérations que nous venons d'exposer montrent qu'il y a dans le sang deux ordres de matières bien différentes : d'abord toutes les matières contenues en dissolution dans le plasma du sang, puis les corpuscules de diverse nature en suspension dans ce liquide. Il faut distinguer soigneusement ces deux espèces de matières, car elles sont loin, dans bien des cas, de se comporter de la même façon. Ainsi, pendant la vie embryonnaire ou intra-utérine, il faut bien que les liquides nourriciers, c'est-à-dire le sang, passent de la mère au fœtus pour que la vie de celui-ci puisse continuer. Mais ce serait une grande erreur que de croire que les différents corpuscules en suspension dans le sang peuvent également passer des vaisseaux de la mère dans ceux du fœtus, et sont par conséquent les mêmes chez l'un et chez l'autre. Les communications qui existent entre ces deux ordres de vaisseaux permettent bien le passage des liquides, mais ne se laissent point traverser par les particules solides qu'ils contiennent.

On peut en dire autant des communications qui existent entre les vaisseaux lymphatiques et les vaisseaux sanguins.

Il y a deux sortes de vaisseaux capillaires : les uns, relativement assez gros, qui font communiquer directement les artères et les veines par simple continuité des deux ordres de tuyaux, et qui sont doués de propriétés contractiles ; les autres, beaucoup plus petits et non contractiles, rampent dans les tissus intermédiaires qui réunissent les différents organes. C'est dans l'intérieur de ces tissus que naissent les veines et les vaisseaux lymphatiques.

Quant aux veines, on sait parfaitement, depuis Malpighi, que leurs premiers radicules sont en communication avec les derniers vaisseaux capillaires qui terminent le système artériel. Pour les vaisseaux lymphatiques, au contraire, les anatomistes prétendent qu'ils ne communiquent point directement avec les vaisseaux sanguins, et ils fondent cette opinion sur ce fait que les injections de mercure, de suif et d'autres substances du même genre pratiquées dans les veines ou les artères, ne pénètrent et ne se retrouvent dans les vaisseaux lymphatiques que lorsqu'on observe des ruptures de tissus qui les expliquent d'une manière tout artificielle. Mais, quoique cette opinion semble avoir pour elle une apparence de raison, les physiologistes ne peuvent point la partager, parce qu'ils ont d'autres motifs également bons, et d'autres faits non moins instructifs qui établissent la réalité de ces communications

Digitized by Google

directes entre le système lymphatique et le système sanguin capillaire.

En effet, les injections liquides passent très-bien des vais-

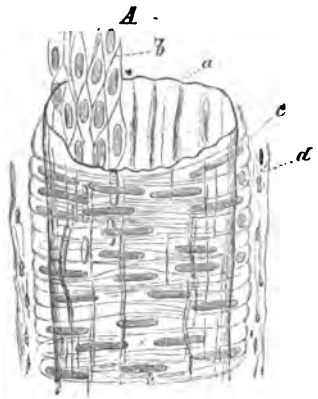


Fig. 5. — A. Schème représentant une artère, d'après Leydig.
a. Couche *intima* homogène avec l'épithélium *b*. — *c*. Couche *media* musculaire. — *d*. Couche *adventitia* conjonctive.

seaux sanguins dans les vaisseaux lymphatiques, comme on peut s'en convaincre en pratiquant des injections dans les artères ou les veines avec une dissolution de chromate de

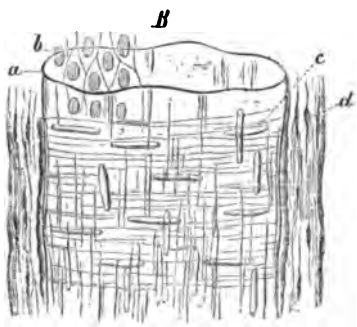


Fig. 6. — B. Schème représentant une veine, d'après Leydig.
a. Couche *intima* homogène avec l'épithélium *b*. — *c*. Couche *media* musculaire. — *d*. Couche *adventitia* conjonctive.

potasse, puis d'acétate de plomb ; on trouve les vaisseaux lymphatiques remplis de chromate de plomb. Il doit évidemment en être de même pour le sang : les parties liquides s'insinuent

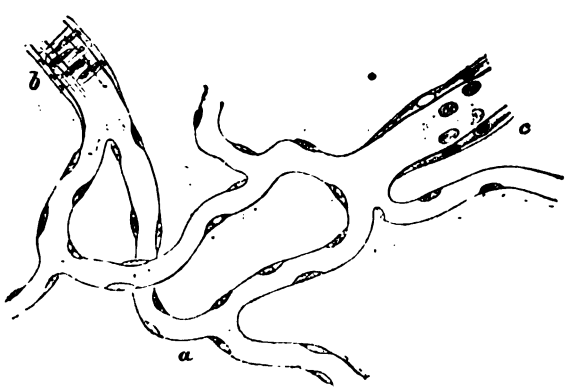


Fig. 7. — Vaisseau capillaire, d'après Leydig (fort grossissement).
a. Capillaires proprement dits. — En *b* ils aboutissent à une artériole, et en *c* à une veinule.

à travers les minces parois des vaisseaux capillaires et pénètrent ainsi dans le système lymphatique ; les globules, au contraire, de même que tous les corps solides, ne pourraient traverser les tissus qu'en les brisant comme le font les injections de matières lourdes, le mercure, par exemple, le suif ou autres substances analogues.

Les communications qui existent entre la mère et le fœtus sont du même genre ; elles se laissent aussi traverser par le liquide sanguin, mais s'opposent également au passage des globules. Ce dernier fait est bien facile à constater, car, chez les fœtus des mammifères, par exemple, les globules du sang ont l'apparence des globules des vertébrés non mammifères, c'est-à-dire qu'ils présentent des noyaux ; tandis que les globules du sang de la mère, comme ceux de tous les mammifères adultes, n'en possèdent point.

M. Claude Bernard a eu occasion de vérifier le même fait d'une autre manière, dans un cas particulier : il vit une femelle de rat, pleine, dont le sang était infecté par une espèce particulière d'hématozoaires, les *filaires*, et le sang du fœtus ne contenait aucune trace de ces hématozoaires : c'est donc qu'ils n'avaient pu passer du sang de la mère dans celui du fœtus. Mais si l'on avait injecté dans les vaisseaux de la mère une substance liquide, comme une dissolution de prussiate de potasse, par exemple, cette substance serait très-bien passée dans le sang du fœtus. On a eu occasion de vérifier ce fait en faisant des expériences avec des poisons. Ainsi, quand on donne de la belladone à une femelle pleine, on peut observer sur le fœtus, comme sur la mère elle-même, les phénomènes particuliers à l'intoxication par ce poison.

Les matières alimentaires passent également de la mère au fœtus, ce qui était nécessaire à la nutrition de ce dernier.

Outre toutes les matières que nous venons d'énumérer et d'étudier successivement, on en trouve encore d'autres dans le sang, mais seulement à l'état pathologique. Il peut, par exemple, se former des caillots par suite de la coagulation de la fibrine, et dans certains cas, ces caillots entraînent une obstruction des capillaires nutritifs ou des capillaires des poumons. C'est ce qu'on appelle une *embolie*, et le nom est assez récent parce que la maladie n'a été observée avec soin que depuis un temps relativement peu éloigné.

Le sang peut encore contenir, dans certains cas, des vibrions et des bactéries. Les vibrions sont des infusoires de forme allongée et très-petits, car ils ne dépassent guère un trois-centième de millimètre de diamètre, mais, généralement, ils ne sont pas considérés comme des animaux, parce qu'ils résistent à l'action de la potasse et des poisons qui tuent les animaux ; on pourrait plutôt y voir des infusoires végétaux.

Quant aux bactéries ou bactéridies, ils se trouvent en grande quantité dans le sang des animaux atteints de certaines maladies, et notamment des affections charbonneuses. M. Davaine a constaté que si l'on injectait une goutte de ce sang charbonneux sous la peau d'un animal sain, il se développait bientôt dans le sang de ce dernier animal une grande quantité de bactéries ou bactéridies qui ne tardaient pas à occasionner sa mort. Le développement de ces animalcules ne constitue point du reste un phénomène cadavérique postérieur à la mort, comme on l'a prétendu, mais un simple phénomène morbide précédant ou même produisant les désordres organiques qui amènent la cessation de la vie.

Sans doute pour produire ce résultat, il faut introduire ces bactérides par une plaie et léser plus ou moins des vaisseaux sanguins pour que les bactéries puissent s'y

Digitized by Google

introduire, car ces animalcules seraient incapables de traverser des parois vasculaires, si minces qu'elles fussent. On sait cependant que l'introduction d'une viande charbonneuse dans les intestins d'un animal leur communique le charbon, et c'est même là un fait qui tendrait à justifier l'opinion de certains physiologistes, qui ont soutenu que dans les intestins les particules solides peuvent être directement absorbées. Il est parfaitement certain, du reste, que les bactéridies ne traversent point les parois des vaisseaux sanguins où ils sont contenus, car M. Davaine a constaté, en ouvrant une femelle pleine qui succombait par suite du développement des bactérides dans son sang, qu'il n'y avait aucune trace de ces animalcules dans le sang du fœtus.

Telle est la constitution des deux parties que nous avons distinguée dans le sang des vertébrés : d'un côté le plasma avec les matières qu'il tient en dissolution, de l'autre les corpuscules de diverses natures en suspension dans ce même plasma. Mais il ne suffit pas que le sang, par suite de la présence des diverses substances qui le constituent, jouisse de certaines propriétés, il faut encore qu'il soit mis en contact avec les éléments organiques qu'il doit nourrir, purifié ou renouvelé, pour pouvoir exercer utilement ses fonctions. Le sang, par suite de son rôle physiologique, est donc essentiellement destiné à circuler, et nous avons maintenant à examiner les phénomènes mécaniques divers sous l'influence desquels il se meut, ainsi que les phénomènes physico-chimiques auxquels il participe pour opérer la nutrition des éléments organiques.

Circulation du sang.

Le sang, comme tous les milieux où vivent des êtres organisés, doit être renouvelé pour remplacer les matières alimentaires qu'il a cédées aux éléments organiques, et se décharger des matières excrémentitielles qu'il a reçues d'eux ; sans quoi les matières excrémentitielles s'accumulant dans son sein et les matières alimentaires en disparaissant au contraire, il finirait bientôt par ne plus porter aux tissus, au lieu de substances neuves, que des substances déjà usées par la vie et devenues impropres à l'entretenir. De là, l'indispensable nécessité du renouvellement du sang. Le but principal de la circulation, c'est de faciliter ce renouvellement et d'assurer ainsi la nutrition des tissus.

La circulation des liquides nourriciers présente de grandes variations, que nous n'avons pas à examiner en détail. Mais c'est surtout chez les animaux assez volumineux que les appareils organiques servant à la circulation prennent une importance toute particulière. En effet, chez les animaux inférieurs et de petite dimension, presque tous les actes vitaux s'accomplissent directement. L'amibe, par exemple, pour n'en citer qu'un, n'a aucune circulation distincte ni, par conséquent, aucun appareil circulatoire. Les organes ne sont, en définitive, que des mécanismes destinés à l'accomplissement des fonctions vitales, et quand ces fonctions peuvent s'accomplir sans organes spéciaux, ceux-ci, devenant inutiles, doivent naturellement disparaître.

La rapidité de la circulation est extrêmement variable aux divers degrés de l'échelle zoologique, et il convient alors de distinguer ici les deux grandes classes dont nous avons déjà parlé bien des fois : les animaux à sang chaud qui ont une circulation fort active, et les animaux à sang froid chez lesquels cette circulation se ralentit beaucoup et devient de plus fort inégale, suivant les saisons ; assez rapide encore en été, elle diminue, en effet, en hiver, jusqu'à devenir presque nulle.

L'intensité des phénomènes physico-chimiques qui se produisent dans l'organisme est en rapport avec l'activité plus ou moins grande de la circulation. On doit citer particulièrement la combustion respiratoire. Ainsi les grenouilles, surtout en hiver, ont une circulation assez faible et en même temps une combustion circulatoire peu énergique.

Lorsque les phénomènes physico-chimiques deviennent très-lents, les phénomènes mécaniques, qui sont surtout destinés à en faciliter l'accomplissement, deviennent aussi beaucoup plus lents, et les animaux peuvent même s'en passer assez longtemps avant de succomber. Les animaux hibernants, par exemple, pendant l'hibernation, peuvent vivre un certain temps sans cœur. On sait également qu'une grenouille est bien loin de mourir aussitôt qu'on lui arrache le cœur, tandis que chez les oiseaux et les mammifères ordinaires l'ablation de cet organe entraîne immédiatement la cessation de la vie. Il est, en effet, bien plus nécessaire pour ces animaux que pour les animaux à sang froid, car dès qu'il est supprimé chez eux le cerveau et le système nerveux, ne recevant plus de sang révivifié et nutritif, cessent immédiatement de fonctionner, et il en résulte une syncope qui est bientôt suivie de mort. Chez une grenouille, au contraire, les dernières ondées sanguines reçues par le système nerveux suffisent pour la faire vivre plusieurs heures.

La circulation du sang forme un *circulus*, c'est-à-dire un

FIG. 8. — Schème destiné à faire comprendre l'ensemble et le mécanisme de la circulation du sang.

o. Oreillette gauche. — *vg*. Ventricule gauche. — *o'*. Oreillette droite. — *vd*. Ventricule droit. — Le système circulatoire du sang rouge, constitué par les artères, et auquel préside le cœur gauche *ovg*, est représenté en blanc sur la figure. — Le système circulatoire du sang noir, constitué par les veines, et auquel préside le cœur droit *o'vd*, est représenté en teinte grise. — Les flèches indiquent le sens du courant sanguin dans les différents vaisseaux. — On voit en haut et en bas les réseaux capillaires des parties supérieures et inférieures du corps où le sang artériel se transforme en sang veineux, et au milieu le réseau capillaire des poumons où le sang veineux se révivifie pour redevenir artériel.

circuit complet et fermé, qui est connu depuis Harvey seulement. Il faut d'abord l'exposer chez les animaux supérieurs,

Digitized by Google

où elle est mieux séparée, parce qu'il sera ensuite bien plus facile de la comprendre chez les animaux inférieurs.

Le sang qui vient de se révivifier dans les poumons et d'y prendre une couleur rouge vermeille, arrive dans l'oreillette gauche du cœur, et passe de là dans le ventricule gauche, qui le lance par l'artère aorte dans toutes les artères du corps. A l'extrémité des artères se trouve le système des capillaires des organes, que le sang traverse ensuite, où il remplit plus particulièrement ses fonctions nutritives et où il se transforme en sang noir. Là il est repris par les veines qui se réunissent de proche en proche, reçoivent sur leur passage un sang spécial, celui du foie, qui se déverse par les veines sus-hépatiques et finissent par aboutir aux veines caves inférieure et supérieure qui se terminent dans l'oreillette droite du cœur. De cette oreillette le sang passe dans le ventricule droit, qui le lance dans l'artère pulmonaire, laquelle se divise en deux branches, l'une allant au poumon droit et l'autre au poumon gauche. Dans les poumons se trouve un dernier réseau de vaisseaux capillaires dans lequel le sang se révivifie et reprend la couleur rouge vermeille qu'il avait perdue en traversant les réseaux capillaires des différents organes. Enfin, le sang est repris dans les poumons par les veines pulmonaires, qui le ramènent dans l'oreillette gauche, et il reprend ensuite le même circuit.

On distingue ce que l'on appelle la grande et la petite circulation. La grande circulation est celle qui conduit le sang du ventricule gauche du cœur aux organes périphériques et qui le ramène ensuite de ces organes à l'oreillette droite : elle

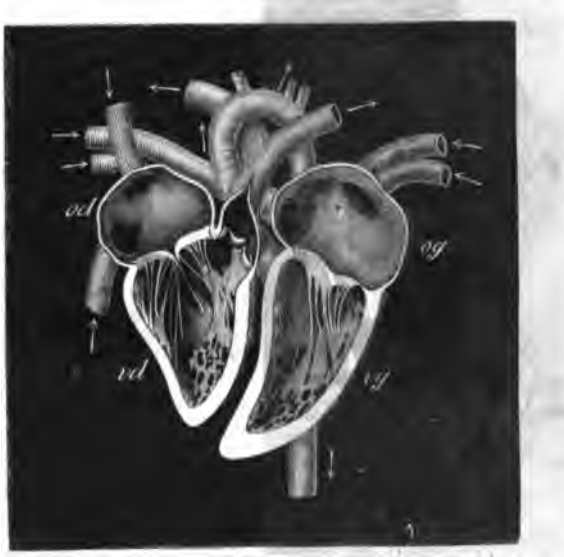


FIG. 9. — Coupe longitudinale du cœur de l'homme montrant ses quatre cavités et les vaisseaux en rapport avec elles.

od. Oreillette droite. — *vd*. Ventricule droit. — *og*. Oreillette gauche. — *vg*. Ventricule gauche. — Les flèches placées à l'embouchure des divers vaisseaux aboutissant aux cavités du cœur indiquent le sens du courant sanguin dans ces vaisseaux.

a pour but de mettre le sang en contact avec les tissus qu'il doit nourrir. La petite circulation conduit le sang du ventricule droit aux poumons, puis des poumons à l'oreillette gauche ; elle a pour but de purifier le sang et de le transformer de sang noir en sang rouge, transformation qui répond, comme nous l'avons vu, à une modification dans la nature des gaz en dissolution dans le sang.

Il faut également distinguer la circulation du sang rouge qui transporte ce sang des poumons aux capillaires généraux des organes par les veines pulmonaires et les artères dépendant de l'aorte, et la circulation du sang noir qui ramène ce sang des organes aux poumons par les veines générales du corps et l'artère pulmonaire. Ces deux circulations se réunissent à une extrémité par le réseau capillaire des poumons et à l'autre par les vaisseaux capillaires des différents organes. Le cœur se divise en deux moitiés bien distinctes, deux demi-cœurs correspondant chacun à l'une de ces deux circulations ; le cœur gauche préside à la circulation du sang rouge et le cœur droit à la circulation du sang noir. Il y a donc en réalité deux cœurs et non pas un seul.

Le cœur est un muscle creux qui se développe et entre en fonction le premier de tous ; c'est, comme le disait Haller, *primum vivens et ultimum moriens*, car ses battements sont le premier indice de la vie comme son arrêt est le signe certain de la mort. Cette persistance toute particulière de ses propriétés vitales le met en harmonie avec les fonctions que doit

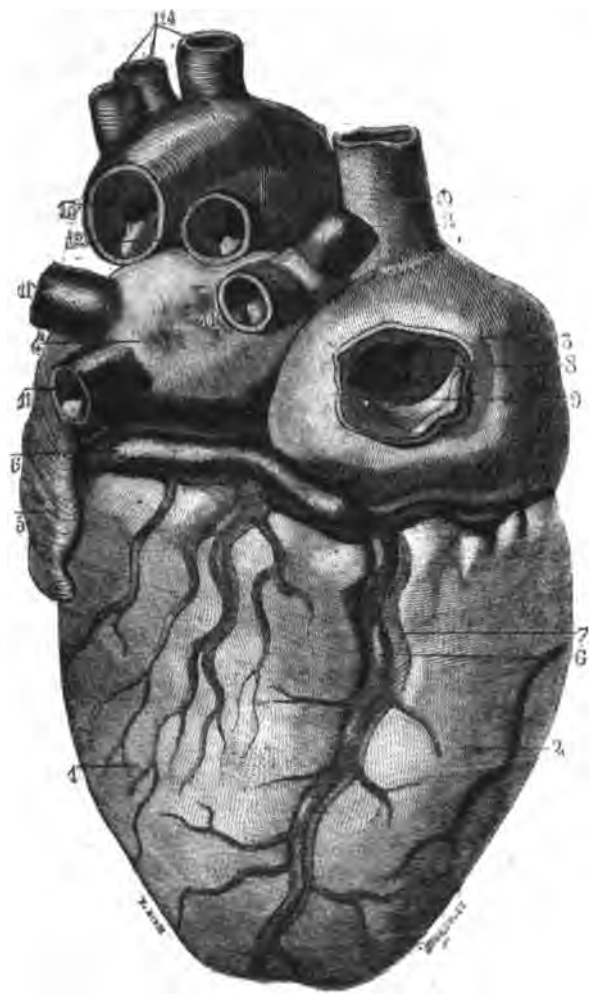


FIG. 10. — Cœur de l'homme de grandeur naturelle, vu par la face postérieure.

1. Face postérieure du ventricule gauche. — 2. Face postérieure du ventricule droit. — 3. Oreillette droite. — 4. Oreillette gauche. — 5. Auricule du côté gauche. 6,6. Veine coronaire et veine interventriculaire postérieure. — 7. Artère coronaire postérieure. — 8. Orifice de la veine cave inférieure. — 9. Valvule d'Eustachi — 10. Veine cave supérieure. — 11, 11, 11, 11. — Orifice des veines pulmonaires. — 14. Orifice des artères qui naissent de la crosse de l'aorte.

remplir le sang, intermédiaire indispensable de la nutrition chez les animaux supérieurs. Le cœur commence à battre pendant la vie intra-utérine, même avant que son tissu n ait

Digitized by Google

encore pris la forme de fibres musculaires définies, et c'est seulement bien plus longtemps après qu'apparaît le système nerveux. Tous les muscles, du reste, sont à peu près dans le même cas, car ils jouissent de la propriété de se contracter sans qu'il existe de système nerveux, et ils peuvent également le faire sous l'influence de ce système.

Mais en ce qui concerne particulièrement le cœur, Haller avait poussé les choses plus loin, car il pensait que le cœur ne recevait aucun filament nerveux et avait le privilége de se contracter normalement tout seul, en dehors de toute influence nerveuse, non-seulement pendant les premières périodes de la vie embryonnaire, mais aussi à l'état adulte. Mais comme il fallait toujours trouver un irritant pour expliquer les contractions de cet organe, Haller admettait que c'était le sang qui irritait le cœur, en y rentrant avec plus ou moins d'impétuosité, et provoquait ses battements, à peu près comme le ferait un choc ou un contact mécanique. A l'époque de Haller, les anatomistes n'étaient pas encore parvenus à démontrer dans le cœur l'existence d'organes nerveux, et cette circonstance semblait justifier son opinion ; mais on sait aujourd'hui que le cœur est pénétré par des ramifications du nerf pneumogastrique remplissant du reste à son égard des fonctions toutes spéciales, et qu'il contient en outre des filets nerveux se rattachant au système grand sympathique.

Chez certains animaux, comme les grenouilles par exemple, le sang pénètre dans le tissu du cœur de la même manière que l'eau pénètre dans une éponge ; elle le nourrit ainsi directement sans vaisseaux spéciaux et sans veines coronaires.

Suivant les différentes qualités que le sang acquiert, et notamment suivant sa température, il provoque dans le cœur des contractions plus ou moins actives. Ainsi, un cœur de grenouille, qui ne bat que huit ou dix fois par minute à une température assez basse, bat trente fois et plus dans le même temps si on l'élève à une température assez haute. Voilà donc là une suractivité cardiaque exceptionnelle due à la seule influence de la chaleur.

On peut faire l'expérience autrement. En effet, si l'on prend une grenouille en hiver et qu'on plonge sa patte dans une eau tiède, les contractions du cœur se précipitent aussitôt, et ce résultat n'est pas dû à une influence particulière du système nerveux qui est, comme on le sait, fort irritable par la chaleur, car il se produit absolument de même lorsqu'on coupe le nerf sciatique qui se distribue dans la patte soumise à l'action de l'eau tiède, ce qui arrêterait évidemment les réactions nerveuses parties de ce point sur le cœur, en admettant qu'il y en eût. L'exaltation des contractions cardiaques dans ces circonstances tient donc tout simplement à ce que le sang s'est échauffé en traversant la patte plongée dans l'eau tiède, et qu'en revenant au cœur il en a ainsi élevé la température.

Nous avons distingué tout à l'heure la grande circulation ou circulation aortique, qui porte le sang aux organes, et la petite circulation, ou circulation pulmonaire, qui le conduit aux poumons. C'est la première surtout qui doit nous occuper, car lorsque nous aurons expliqué son mécanisme, les mêmes considérations s'appliqueront à très-peu près à la petite circulation.

L'organe essentiel de la circulation du sang, c'est le ventricule, qu'on pourrait définir une pompe dont le piston est remplacé par un mouvement des parois qui augmente et diminue tour à tour la capacité de cette espèce de corps de pompe. Le ventricule gauche, puisque c'est de celui-là en particulier que nous parlons, possède deux ouvertures, l'une par laquelle entre le sang, l'autre par laquelle il sort, et chacune d'elles est munie de valvules, sorte de soupapes qui ne se laissent traverser par le sang que dans un seul sens.

Le sang se trouve ainsi chassé dans le système aortique avec une certaine pression. Cette pression est supérieure à la pression atmosphérique, et, en effet, lorsqu'on ouvre une artère, le sang en sort avec impétuosité et forme un jet assez fort. On avait eu la pensée d'évaluer l'énergie de l'impulsion communiquée au sang par la contraction ventriculaire en mesurant la hauteur de ce jet. Cela était naturel. Un médecin anglais, Halles, est le premier qui ait observé ces faits d'une manière suivie. Il adaptait à l'artère un petit tube de verre dans lequel le sang s'élevait à une certaine hauteur, et il appréciait la force de l'impulsion imprimée au sang par le ventricule en mesurant la hauteur à laquelle se maintenait le sang dans le petit tube de verre.

Depuis cette époque, on a beaucoup perfectionné les méthodes hémométriques. Dans ses recherches faites il y a trente ans environ, M. Poiseuille adaptait un manomètre ordinaire à air libre à l'artère qu'il voulait étudier, et aujourd'hui on a imaginé, pour arriver à mesurer exactement la pression du sang dans les artères, une foule de combinaisons plus ou moins ingénieuses. Chez l'homme, la pression du sang dans les artères est en général de 150 millimètres de mercure ; mais il faut bien entendre ajouter à cette pression la pression atmosphérique.

M. Poiseuille pense que la pression est partout la même dans le système artériel, à quelque distance qu'on se trouve du cœur, et il se fonde, pour soutenir cette opinion, sur diverses expériences qu'il a exécutées en opérant surtout sur de gros animaux, comme le cheval par exemple. Il mesurait la pression du sang dans l'artère carotide et dans l'artère du jarret, et trouvait qu'elle était égale dans ces deux points si inégalement éloignés du cœur. On lui a objecté depuis qu'un pareil résultat, à part toute autre considération, était impossible mécaniquement et contredirait les lois de l'hydrodynamique, parce que les frottements du sang contre les vaisseaux doivent nécessairement, d'après ces lois, diminuer sa pression. M. Poiseuille répondait à cette objection que les frottements étaient beaucoup diminués par cette circonstance, qu'il restait toujours une couche liquide immobile adhérente aux parois des vaisseaux et formant une sorte de cylindre liquide dans lequel s'effectuait en réalité la circulation.

La pression que supporte le sang dans l'intérieur du système artériel tient à deux causes distinctes, l'impulsion du cœur et l'élasticité des parois artérielles. La seconde de ces causes est variable, l'autre au contraire est invariable, et il faut bien distinguer dans l'effet total ce qui appartient à chacune d'elles.

Au passage du ventricule dans l'aorte se trouvent les valvules sigmoïdes qui s'écartent un peu pour laisser passer le sang, mais jamais assez pour s'appliquer contre les parois de l'artère, de sorte que le globule d'Arantius n'a point pour but d'empêcher le contact de ces valvules avec la paroi artérielle, comme on le croyait, puisque ce contact ne peut jamais avoir lieu, les valvules sigmoïdes ne s'ouvrant pas tout entières comme une porte à deux battants.

Le sang ainsi engagé dans l'aorte possède d'abord une pres-

Google

sion constante due à l'élasticité des parois de l'artère, puis une autre pression qui se superpose à celle-là et qui varie continuellement, de sorte que si l'on figurait le phénomène par une courbe continue, comme cela se pratique aujourd'hui, elle serait représentée par une sorte de zigzag s'élevant au-dessus d'une ligne droite. La première de ces deux pressions est de 150 millimètres de mercure environ, et elle est la même dans toutes les artères, de sorte que M. Poiseuille avait raison à ce dernier point de vue.

Au contraire, la pression due à l'impulsion cardiaque varie à chaque instant, comme nous l'avons dit, et elle produit, à chaque battement du cœur, une saillie notable dans la colonne mercurielle qui s'élève dans la branche ouverte du manomètre. C'est cette pression qui donne lieu au battement du pouls; elle n'est plus la même dans toutes les parties du corps et s'affaiblit à mesure qu'on s'éloigne du cœur. Si l'on met, par exemple, l'une des deux branches d'un manomètre différentiel en rapport avec l'artère carotide, et l'autre avec l'artère iliaque, on constate à chaque battement du cœur une différence de niveau entre les colonnes mercurielles dans les deux branches : le mercure s'élève plus haut du côté de l'artère iliaque, ce qui prouve que la pression est plus faible dans cette artère que dans l'artère carotide.

Cette pression constante, due à l'élasticité des parois artérielles, est à peu près la même, non-seulement dans les différentes régions du même animal, mais aussi chez les divers animaux. Lorsque M. Poiseuille voulut faire autrefois des expériences sur des animaux volumineux, comme le cheval et le bœuf, il crut qu'il allait avoir à mesurer des pressions beaucoup plus considérables, et qu'il lui faudrait par conséquent des instruments bien plus forts ; il prit donc de grands manomètres; mais dès qu'il eut commencé ses expériences, il fut fort étonné de constater que la pression des artères, chez ces animaux relativement énormes, était sensiblement la même que celle qu'il avait trouvée dans ses précédentes expériences chez les lapins et les chiens de petite taille, c'est-à-dire 150 millimètres de mercure environ. Mais la pression résultant de l'impulsion cardiaque varie également d'un animal à un autre, comme elle varie chez le même animal d'une région du corps à une autre. Ainsi la force d'impulsion du cœur est énormément plus forte chez un cheval que chez un lapin.

Chez le même animal et dans la même artère, la pression du sang peut encore varier d'un moment à un autre, sous l'influence de certaines conditions particulières. La première de ces conditions, c'est la variation de la quantité de sang contenue dans l'organisme. Plus il y a de sang et plus sa pression est considérable. Lorsque l'animal est à jeun, la pression du sang diminue toujours chez lui et elle augmente au contraire lorsqu'il est en digestion. Cet effet tient surtout aux variations de quantité du sang qui résultent de l'état de digestion ou de l'état d'abstinence et se ramène par conséquent à la même cause que le précédent. On ne pourrait cependant point mesurer par la pression des artères la quantité de sang contenue dans l'organisme, parce que l'influence du système nerveux entre aussi pour quelque chose dans ces variations de pression. Lorsqu'on coupe les artères carotides pour sacrifier les animaux de boucherie, comme cela se pratique dans les abattoirs juifs, le jet de sang possède d'abord une force sensiblement constante et s'élance régulièrement : à ce moment c'est surtout la pression des parois artérielles qui fait jaillir le sang. Plus tard ce jet devient saccadé, parce que les effets de la pression cardiaque deviennent plus sensibles dans l'ensemble. Quand l'impulsion cardiaque se répartit sur une masse de sang plus faible, il est naturel que son énergie augmente de même qu'elle devient plus faible lorsqu'elle se répartit sur une masse de sang plus considérable, comme l'a montré Magendie, en transfusant tout le sang d'un chien dans un autre chien à peu près de même taille, lequel se trouvait ainsi avoir deux fois autant de sang qu'auparavant.

Tel est le mécanisme et les particularités de la circulation artérielle. Mais ce n'est pas tout, car à l'extrémité des artères il y a les vaisseaux capillaires. Les grosses artères ne sont guère que des tuyaux ou des tubes réagissant par de simples propriétés physiques plutôt que par des propriétés physiologiques proprement dites, comme l'a démontré Magendie. Les vaisseaux capillaires sont à peu près inertes, et il y a là des conditions toutes particulières de circulation que nous devons examiner.

C'est dans les capillaires que l'étude du phénomène circulatoire devient plus intéressante, parce que c'est là que se trouvent réunies les conditions particulières qui augmentent d'une manière considérable l'intensité des phénomènes physico-chimiques intervenant dans la nutrition.

Ce n'est pas à dire cependant que la combustion respiratoire, le plus important de tous ces phénomènes, ne s'accomplisse que là ; elle se produit partout, et il était impossible qu'il en fût autrement. Comment, en effet, supposer que des éléments organiques aient l'intelligence de ne pas accomplir leurs fonctions normales dans certains endroits de l'organisme, où se trouvent d'ailleurs réunies les conditions de leur manifestation, tandis qu'ils les rempliraient dans d'autres régions ? Il serait donc absurde de prétendre que les globules du sang ont soin de conserver leur oxygène jusqu'à ce qu'ils arrivent dans les capillaires, et qu'une fois là ils se décident à l'exhaler pour servir à la respiration des différents tissus.

La combustion respiratoire commence dans le sang dès qu'il sort des poumons; mais elle est loin d'être complète lorsqu'il arrive aux vaisseaux capillaires, où il séjourne assez longtemps, et c'est dans l'intérieur des vaisseaux qu'elle s'effectue en plus grande partie. Mais ce résultat est dû tout simplement à des phénomènes mécaniques et surtout au ralentissement de la circulation. Et, en effet, l'impulsion cardiaque a diminué progressivement à partir du cœur, et lorsque le sang arrive aux capillaires, elle est devenue presque nulle. Mais on obtiendrait des phénomènes du même genre dans une artère quelconque, en y réunissant artificiellement les mêmes conditions. Ainsi, quand on pratique sur une artère deux ligatures placées à une certaine distance l'une de l'autre, le sang compris entre ces deux ligatures devient noir au bout d'un quart d'heure à peine.

Examinons donc quels sont les phénomènes mécaniques qui se passent dans les vaisseaux capillaires, et pour cela déterminons d'abord quelle est la constitution de ces vaisseaux.

Dans les premières périodes du développement embryogénique, il n'y a pas de vaisseaux capillaires, et c'est là une organisation du système vasculaire que l'on retrouve encore à l'état adulte dans certaines classes d'animaux. Chez les petits poissons l'aorte se recourbe au bout de la queue et s'unit directement aux veines par simple inosculation. Les

Digitized by Google

veines et les artères communiquent donc alors entre elles sans aucun intermédiaire, et cela aux deux extrémités de chaque système, car il n'y a pas plus de vaisseaux capillaires dans les branchies que dans les organes périphériques. En effet, les pulsations cardiaques se font parfaitement sentir dans l'aorte au travers des arcs branchiaux.

Plus tard, à une période postérieure du développement, on observe la formation d'anses, dans lesquelles se produisent ensuite une foule de petits vaisseaux qui deviennent vaisseaux capillaires. Auparavant la nutrition des tissus se faisait au moyen d'une simple imbibition des éléments organiques par la partie liquide du sang, au travers des parois organiques; mais les globules ne sortaient point des vaisseaux. Dès que ces petits capillaires sont constitués, le sang y pénètre, s'y perd en quelque sorte, pour ressortir ensuite un peu plus loin. On a souvent comparé ce phénomène à la disparition de l'eau qui se perd dans le sable, comme le font, par exemple, certaines petites rivières des déserts d'Afrique.

Mais les premiers vaisseaux, par lesquels se complétait d'abord le circuit circulatoire, continuent quelquefois à subsister, surtout dans le foie et les autres organes glandulaires, et ils établissent une véritable communication directe entre les artères et les veines par inosculation. Certains anatomistes veulent considérer ces vaisseaux comme des artérioles et non comme des capillaires. Mais le nom qu'on leur donne importe peu, pourvu que l'on soit d'accord sur les faits, c'est-à-dire sur les propriétés qu'ils possèdent. Les gros vaisseaux capillaires ou artérioles sont contractiles et présentent à peu près la constitution des artères; ils jouent un très-grand rôle dans la circulation capillaire, comme nous allons le voir tout à l'heure. Les petits vaisseaux capillaires ont, au contraire, une constitution beaucoup plus simple : des trois membranes qui forment les parois des artères, ils ne possèdent plus que la membrane intermédiaire, c'est-à-dire une membrane anhiste très-mince.

Les gros vaisseaux capillaires sont soumis à l'influence du système nerveux qui règle leur contraction. Or, il est évident que ces vaisseaux se contractent, ils s'opposent au passage du sang, ou au moins d'une partie du sang, et ce sang, ainsi arrêté dans sa course, est obligé de passer par les petits capillaires. C'est là un mécanisme qui joue un grand rôle dans les sécrétions. Les choses se passent ainsi chez les vertébrés; mais en dehors de ce grand embranchement, on trouve aussi certains animaux qui peuvent tout simplement arrêter leur circulation sous l'influence de leur volonté; le fait a été observé, par exemple chez le phylosome ou larve de la langouste, par M. Gerbe. Il est du reste facile de vérifier directement tout ce que nous venons de dire en examinant au microscope les réseaux vasculaires sur le mésentère d'un lapin ou la patte d'une grenouille.

Maintenant que nous connaissons la constitution du réseau capillaire, nous pouvons étudier le mécanisme de la circulation dans ses diverses parties. Pour que les échanges d'oxygène et d'acide carbonique, constituant le mouvement respiratoire, ainsi que les échanges de matières liquides ou de matières solides en dissolution, constituant le mouvement nutritif, pour que ces divers échanges puissent s'accomplir, il faut évidemment un certain temps. Or, les expériences de Volkmann, Hering, etc., qui sont assez concordantes entre elles, prouvent que le mouvement circulatoire général se fait beaucoup trop rapidement pour qu'on puisse admettre une telle vitesse dans les capillaires, dont les dimensions sont très-exiguës et où doivent s'accomplir les divers phénomènes physico-chimiques dont nous venons de parler. Il faudrait faire une distinction, au point de vue de la vitesse du courant sanguin, entre la circulation générale et la circulation capillaire.

Les expériences sur la rapidité de la circulation, dont nous venons de parler, ont été répétées par M. Poiseuille, qui les a trouvées très-exactes. Il opérait pour plus de commodité sur un animal d'assez forte taille, le cheval, dont la circulation, du reste, n'est pas trop rapide. On injectait dans ses veines, soit des substances faciles à reconnaître chimiquement, et dont on vérifiait ensuite la présence au bout d'un certain temps, dans un autre point du circuit circulatoire. Ou bien on injectait dans les veines une substance toxique et l'on notait ensuite le temps au bout duquel l'animal était pris des symptômes de l'empoisonnement. Mais cette seconde méthode est sujette à une cause d'erreur et M. Claude Bernard préfère la première.

Il pratiquait donc une section de la veine jugulaire et injectait dans le tronçon inférieur du prussiate jaune de potasse, substance très-facile à reconnaître par ses caractères chimiques, mais qui n'était pas toxique à la dose à laquelle on la donnait. On recueillait de cinq en cinq secondes, dans des vases distincts, le sang qui s'écoulait du tronçon supérieur de la veine, et l'on examinait ensuite ces différents sangs pour y chercher le prussiate de potasse. On trouva ainsi que le sang recueilli au tronçon supérieur, vingt-cinq à trente secondes après l'injection dans le tronçon inférieur, contenait déjà du prussiate de potasse. Le sang altéré par cette substance avait donc mis vingt-cinq à trente secondes pour accomplir son circuit complet et revenir à son point de départ.

Telle est la durée du tour circulatoire du sang chez le cheval. Mais cette durée est moins considérable lorsque le circuit à parcourir est moins long et l'animal plus petit. Les globules travaillent donc davantage dans le même temps chez un petit animal que chez un animal plus volumineux et, en effet, la nutrition et la respiration sont relativement bien plus actives chez le premier que chez le second. Chez le chien, par exemple, le sang ne met que quinze secondes pour revenir à son point de départ, et chez le lapin cette durée s'abaisse jusqu'à cinq ou six secondes. On a conclu de ces expériences, faites sur différents animaux, que, chez l'homme, le temps employé par le sang pour parcourir son trajet circulaire complet devait être de vingt secondes environ.

D'après les données de ces expériences, il faudrait donc admettre que, chez un lapin, par exemple, la durée de la circulation capillaire est de deux ou trois secondes tout au plus. C'est là évidemment une chose impossible. Ce n'est point à dire, cependant, que ces expériences soient entachées de causes d'erreur; elles semblent, au contraire, parfaitement exactes; seulement elles ne se rapportent pas à la circulation capillaire proprement dite, et indiquent seulement la vitesse du sang dans les vaisseaux d'inosculation directe. Différents travaux anatomiques conduisent également aux mêmes conclusions et permettent aussi d'établir que le sang ne passe pas tout entier par les capillaires à chacun de ses trajets circulaires. M. Suquet notamment a fait différentes recherches à ce sujet, et il a montré que des injections fines, pratiquées dans les artères, pouvaient très-bien pénétrer dans les veines sans avoir passé par les réseaux capillaires proprement dits.

Digitized by Google

Il y a donc, à vrai dire, deux circulations distinctes, deux voies collatérales, que le sang peut prendre également suivant les circonstances : la circulation capillaire et la circulation qui passe par des troncs vasculaires relativement bien plus considérables, les artérioles contractiles. Quand ces voies contractiles sont obstruées, par exemple sous l'influence du système nerveux, le torrent de la circulation doit passer tout entier par les vaisseaux capillaires, et notamment la turgescence des glandes pendant les sécrétions paraît due à cette circonstance. Ce serait donc une grande erreur de considérer le sang moyen comme passant incessamment par tous les vaisseaux capillaires, et l'on a quelquefois commis cette erreur, notamment dans des travaux récents sur l'empoisonnement par l'oxyde de carbone.

Il est, du reste, facile de constater, en examinant une patte de grenouille au microscope, que tous les globules ne marchent pas avec la même vitesse, les globules de certains vaisseaux allant beaucoup plus vite que ceux d'autres vaisseaux. Il y a donc lieu de distinguer deux ordres de vaisseaux capillaires : les gros capillaires, qui restent à peu près étrangers à l'accomplissement de la fonction de nutrition, et les petits capillaires, dans le sein desquels se produisent plus particulièrement les phénomènes nutritifs.

Quels sont donc précisément les faits qui se passent dans ces derniers capillaires? Les globules y circulent, mais sans toucher aux parois, comme cela a été observé par plusieurs physiologistes, et notamment par M. Poiseuille. Il y a, en effet, le long des parois, une couche immobile de sérum que M. Poiseuille a montré être adhérente à ces parois, et qu'il est facile d'observer au microscope dès qu'on en est prévenu.

M. Poiseuille, en étudiant l'écoulement des liquides dans des tubes étroits organiques ou inertes, a constaté qu'il y avait toujours une couche de liquide adhérente aux parois des tubes inertes, évidemment par des causes purement physiques; cela tient, en effet, à ce que le liquide mouille le tube. Dans ces circonstances, l'écoulement se produit donc, pour ainsi dire, le long d'un tuyau liquide. D'après les recherches de M. Poiseuille, il en serait de même dans les vaisseaux capillaires, et cette couche liquide, formant un tuyau continu, serait exclusivement formée de plasma.

On avait bien supposé que ce qu'on prenait pour une couche de plasma immobilisée contre les parois n'était que des vaisseaux lymphatiques longeant les capillaires sanguins. Mais M. Poiseuille a répondu victorieusement à cette objection en montrant que, dans certaines conditions circulatoires, cette couche de plasma s'agitait et se troublait, phénomène qui ne pourrait évidemment se produire si l'on avait affaire à des vaisseaux lymphatiques parallèles aux capillaires eux-mêmes. Il est, du reste, probable que les gros vaisseaux capillaires possèdent aussi des vaisseaux lymphatiques dans leurs parois ; mais ils n'ont pas encore été directement observés jusqu'ici.

Quelle est la cause productrice de la circulation du sang dans les gros vaisseaux capillaires? C'est évidemment la même que celle qui produit la circulation dans les gros vaisseaux artériels, c'est-à-dire la force d'impulsion résultant des contractions du cœur. En effet, si la circulation capillaire continue chez certains animaux, la grenouille par exemple, après l'ablation du cœur, elle devient très-irrégulière. D'ailleurs, dans les animaux supérieurs, où l'activité circulatoire est bien plus grande, la circulation capillaire cesse complétement dès que le cœur est arrêté ou enlevé. Seulement, la force d'impulsion du cœur diminue de plus en plus à mesure qu'on s'éloigne de lui, et par suite de l'étroitesse de plus en plus grande des vaisseaux sanguins qui rend les mouvements des liquides plus difficiles et la transmission beaucoup moins parfaite.

La contractilité des artères joue aussi un certain rôle dans ce phénomène. Nous avons déjà dit, en effet, que les artérioles d'inosculation directe étaient contractiles comme les artères ; mais ce n'est pas tout : si les petits vaisseaux capillaires ne sont plus contractiles, les vaisseaux qui se détachent des artérioles d'inosculation directe pour aboutir à ces petits capillaires et y conduire ou en ramener le sang, ceux-là le sont encore. On peut, du reste, supprimer complétement la circulation capillaire en mettant en jeu, d'une manière énergique, cette contractilité.

L'expérience est facile à faire, et M. Claude Bernard l'a exécutée bien des fois, notamment sur la veine coronaire labiale du cheval. Pour obtenir ce résultat, on irrite, au moyen de l'électricité, les filets du grand sympathique qui se distribuent dans cette région, et, quoique la veine coronaire soit ouverte, il ne s'en échappe plus de sang. Le sang reste donc dans le système capillaire ; et, en effet, quand on cesse l'irritation du grand sympathique, le sang qui sort de la veine labiale est extrêmement noir, parce qu'il a séjourné longtemps dans les capillaires. On fait, en définitive, par cette irritation du grand sympathique, ce que fait le phylosome qui arrête la circulation de son liquide nourricier. Le mécanisme du phénomène se ramène en effet à une obstruction des vaisseaux qui entrave la propagation des ondées sanguines et des impulsions parties du cœur.

Si l'on peut arrêter la circulation capillaire on doit aussi pouvoir l'activer. Les muscles placés dans les parois des vaisseaux sont soumis au système nerveux et dans un état de tonicité constante comme les autres membres de l'organisme : c'est ce qu'on appelle le ton musculaire, ou plus spécialement la tonicité vasculaire, *tonus vascularis*. Cet état particulier de demi-contraction est dû à une action incessante du système nerveux. Mais, si l'on supprimait cette influence nerveuse, l'élasticité naturelle des vaisseaux les ferait dilater autant que possible, et par suite la circulation deviendrait plus active. On ne doit jamais, en effet, chercher dans toutes ces modifications circulatoires autre chose qu'un phénomène physique en rapport avec un phénomène vital.

Reprenons donc notre expérience de tout à l'heure sur la veine labiale, et supposons qu'après avoir d'abord irrité le grand sympathique à l'aide de l'électricité et arrêté par ce moyen la circulation, on ne se contente pas de cesser cette irritation anormale, mais qu'on coupe complétement les nerfs du grand sympathique ; alors, au lieu de 5 grammes de sang, la veine labiale en donne 50 dans le même temps. De plus, ce sang est rouge comme le sang artériel et il sort de la veine avec un jet analogue à celui qu'on obtient en ouvrant une artère, au lieu de baver goutte à goutte, comme cela a lieu d'ordinaire. Enfin, la veine donne des battements comme ferait une artère, et c'est ce qu'on appelle le pouls veineux.

Tous ces effets s'expliquent facilement par cette circonstance, que dans de pareilles conditions la force d'impulsion des ondées sanguines lancées par le cœur ne se trouve plus diminuée par la résistance des parois vasculaires. On observe, du reste, des effets du même genre dans certains états pathologi-

Digitized by Google

ques, et cela a lieu toutes les fois que le système grand sympathique est paralysé.

La couleur du sang est en rapport avec la présence ou l'absence de l'oxygène. On ne peut donc pas distinguer absolument le sang artériel et le sang veineux par leur coloration. D'abord, on sait depuis longtemps que l'artère pulmonaire contient du sang noir ou veineux, tandis que les veines pulmonaires contiennent du sang rouge ou artériel. D'un autre côté, M. Claude Bernard a montré plus récemment que les veines pouvaient contenir du sang artériel dans certaines circonstances, et notamment dans les glandes en sécrétion, à l'état normal et à l'état pathologique dans certaines affections caractérisées par une paralysie du système nerveux grand sympathique.

Établir une distinction absolue et rigoureuse entre le sang artériel et le sang veineux serait une chose impossible. Dans la nature brute, les phénomènes ont une parfaite rigidité et se renferment dans des limites précises; tel fait commence ici et finit là; on n'en trouve aucune trace au delà de ces limites, et à leur intérieur il reste constamment le même. Mais il n'en est plus de même dans les êtres vivants, et une pareille rigidité ne s'y rencontre jamais. Ainsi, on peut dire que la combustion respiratoire s'accomplit surtout dans les capillaires; mais cette délimitation est loin d'être absolue, et nous avons déjà dit que le sang rouge commençait, dès sa sortie du cœur, à se transformer en sang noir; cette transformation peut même devenir complète avant les capillaires, quand on se place dans des conditions convenables pour cela, telle qu'une atmosphère très-chaude.

Les phénomènes vitaux sont donc toujours extrêmement variables, et ce que nous disons là n'est point seulement l'expression du sentiment d'un physiologiste, c'est aussi l'opinion des physiciens qui ont étudié les phénomènes physico-chimiques chez les êtres vivants. Ainsi, MM. Regnault et Reiset, qui se sont occupés, comme l'on sait, de la respiration et de tout ce qui concerne la chaleur animale, disent-ils, que si l'on voulait calculer mathématiquement la chaleur animale dans l'état actuel de nos connaissances, on arriverait à de grandes inexactitudes.

La principale différence à signaler entre les veines et les artères au point de vue des phénomènes mécaniques, c'est que la circulation se fait surtout dans les artères, par la force des contractions du ventricule, c'est-à-dire par la *vis à tergo*, comme on l'appelle souvent, tandis qu'elle se produit surtout dans les veines sous l'influence de forces autres que celles-là.

Cependant la pression cardiaque se transmet quelquefois dans les veines avec une intensité assez considérable et produit alors, dans ces vaisseaux, un pouls veineux semblable au pouls qu'on observe normalement dans les artères. Ce pouls veineux existe dans certaines maladies, notamment dans la fièvre typhoïde. Comme on a suivi très-soigneusement les modifications que présente le sang dans cette affection, on croyait que ce pouls anormal tenait à ce que le sang acquérait dans ces circonstances une grande fluidité, qui lui aurait permis de traverser plus facilement les capillaires qu'on croyait alors dépourvus de toute contractilité et parfaitement inertes comme les veines elles-mêmes.

Mais si cette fluidité exagérée avait existé réellement, il en serait simplement résulté ceci, c'est que le sang se serait extravasé en imbibant les tissus environnants, et il aurait produit l'obstruction des capillaires par le mécanisme que nous avons déjà décrit en parlant des injections d'eau dans le sang. Cette cause était donc purement imaginaire, et l'on sait aujourd'hui que le pouls veineux est un effet de la non-contractilité des capillaires paralysés.

Les veines sont pourvues, le long de leur parcours, de valvules particulières qui aident le sang à remonter vers le cœur, et il paraît que ce sont elles qui ont conduit Harvey et son maître, Fabrice d'Acquapendente, à la découverte de la circulation du sang.

Certaines veines ont des parois contractiles; telles sont, par exemple, la veine rénale du phoque, les veines hépatiques du cheval et de quelques autres animaux, etc. Chez le phoque, on croit que cette particularité est en rapport avec l'arrêt de la circulation pendant le plongeon; chez le cheval, elle paraît bien être en rapport avec la course, car les chevaux qui courent beaucoup la présentent à un bien plus haut degré, comme M. Claude Bernard l'a constaté, et l'on a remarqué, du reste, que chez les chevaux de course le système veineux, en général, est plus développé que chez les autres.

Ces fibres musculaires, placées dans les parois des veines, facilitent certainement la circulation; les mouvements musculaires y aident aussi, et c'est pour cela que l'on recommande souvent au malade sur lequel on opère une saignée, de remuer les doigts ou le bras pour rendre plus facile et plus prompte la sortie du sang.

Les mouvements respiratoires provoquent également un appel de sang dans la poitrine, chez les mammifères bien entendu, car c'est surtout chez eux que se produit avec toute son énergie le jeu de soufflet des parois thoraciques qui se décomposent en un mouvement d'inspiration et un mouvement d'expiration. Pendant l'inspiration, il se produit dans la poitrine un vide que quelque chose doit nécessairement venir remplir : c'est l'air entrant par la trachée et le sang veineux affluant alors dans la poitrine. Les chirurgiens connaissent malheureusement très-bien ce fait, car il leur arrive souvent, lorsqu'ils exécutent des opérations près de la poitrine, de voir tout à coup se produire une lésion d'une veine, ce qui entraîne aussitôt l'introduction de quelques bulles d'air dans le cœur et, par suite, la mort.

On a cherché à déterminer jusqu'à quelle distance pouvait se produire l'appel de sang dans la poitrine. M. Poiseuille l'a constaté dans les veines jugulaires, dans les veines thoraciques et dans les veines du diaphragme; mais cet effet s'étend plus loin qu'on ne le croit généralement, car M. Claude Bernard a eu occasion de constater que c'était souvent cette circonstance qui faisait manquer certaines expériences. Il voulait enlever le nerf accessoire de Willis près du sinus, et souvent l'animal mourait subitement dès le début de l'expérience, quelquefois même, lorsqu'on n'avait encore coupé que les muscles. Cet accident était le résultat de l'entrée de l'air dans les veines; car, à la suite d'un examen attentif, M. Claude Bernard constata que tous les sinus vertébraux étaient remplis d'air, et ce résultat se produisait lorsque l'animal faisait une forte inspiration pendant l'expérience. C'est ainsi que l'inspiration favorise la circulation veineuse du cerveau, tandis que l'arrêt de la circulation produit des congestions dans cet organe.

Aux quatre conditions que nous venons d'indiquer comme favorisant la circulation veineuse, — contractilité des capillaires et de certaines veines, valvules, mouvements muscu-

Digitized by Google

laires, appel de sang dans la poitrine pendant l'inspiration,— il faut encore ajouter la position, qui a une grande influence, surtout pour la tête, comme les chirurgiens ont souvent occasion de le constater dans leurs opérations.

Le sang veineux arrive au cœur par les veines caves inférieure et supérieure. La veine cave inférieure est placée sur un plan un peu postérieur; elle ramène le sang des membres inférieurs, des organes digestifs, foie et autres, etc., c'est-à-dire qu'elle contient les produits de la digestion et une quantité certaine de sucre qui s'est formée dans le foie; ce sang est aussi beaucoup plus chaud, et la différence de température avec celui de quelques autres veines va souvent jusqu'à un degré. La veine cave inférieure ramène seulement le sang de la tête et des bras, c'est-à-dire de parties du corps moins chaudes et refroidies par leur contact étendu avec l'air ambiant.

En opérant avec quelques précautions, on peut prendre, dans l'oreillette droite, à sa partie postérieure, du sang provenant exclusivement de la veine cave inférieure, et à la partie antérieure du sang provenant exclusivement de la veine cave supérieure. On constate alors que ces deux sangs ont une température très-inégale et une composition différente. Aussi y a-t-il là une cause d'erreur à laquelle on doit toujours apporter la plus grande attention dans les expériences. Lorsqu'on veut opérer sur le sang veineux total, il faut donc le prendre dans le ventricule où le mélange du sang des deux veines caves est opéré.

Le ventricule droit a, du reste, une force d'impulsion beaucoup moins grande que celle du ventricule gauche, ce qu'indique déjà suffisamment la différence considérable d'épaisseur des parois musculaires des deux ventricules. A la suite d'expériences très-délicates, M. Poiseuille a évalué la force des contractions du ventricule droit à quatre ou cinq fois moins que celle des contractions du ventricule gauche. Du reste, le ventricule droit a simplement pour mission de lancer le sang dans les poumons, et c'est là un trajet beaucoup moins long que celui que le sang doit parcourir dans le système artériel général, sous l'influence du ventricule gauche.

En sortant du ventricule droit, le sang commence la petite circulation; mais cette petite circulation ne peut s'accomplir qu'à la condition qu'il n'y ait pas de gaz dans le sang. C'est même par cette particularité qu'on explique maintenant l'influence rapidement mortelle de l'air introduit dans le cœur. On avait supposé autrefois que cet air, se dilatant dans le cœur, empêchait les contractions cardiaques de se produire; mais l'étude expérimentale de tous ces faits a montré que c'était dans les capillaires des poumons, et non dans le cœur lui-même, que se produisait le phénomène. En effet, l'air qui s'est introduit dans le cœur obstrue les capillaires et arrête ainsi la circulation. Ce moyen est même quelquefois employé pour tuer les vieux chevaux dans les abattoirs d'équarrissage.

Lorsqu'on ouvre le cœur immédiatement après la mort, on y trouve une mousse qui remplit l'oreillette, le ventricule et les premières portions des veines caves inférieure et supérieure, ainsi que de l'artère pulmonaire. C'est pour cela que la mort arrive lorsque la quantité de gaz est suffisante; s'il n'y en a pas assez pour produire ainsi un résultat complet, une partie seulement des branches vasculaires se trouve obstruée et les autres continuent à fonctionner.

M. Jamin a montré que l'introduction de l'air dans les vaisseaux des végétaux a un rôle important à jouer dans la circulation de la séve.

Quand on insuffle trop d'air dans les poumons en pratiquant la respiration artificielle, on peut aussi produire un emphysème ou rupture des vésicules pulmonaires qui permet l'introduction de l'air dans les veines ou dans les artères et amène par suite tous les accidents dont nous venons de parler.

Les mouvements respiratoires produisent une dilatation de la poitrine que les poumons suivent exactement puisqu'ils sont toujours appliqués contre les parois thoraciques; le sang traverse alors plus facilement et plus rapidement les vaisseaux capillaires et, par suite, la pression artérielle se trouve diminuée. L'arrêt de la respiration amène généralement l'arrêt de la circulation pulmonaire. Cependant la respiration paraît dans certains cas s'arrêter pendant l'état de dilatation de la poitrine et de telle manière que cet état se maintienne. Dans ce cas, la circulation pulmonaire ne s'arrêterait pas, et M. Claude Bernard a même observé que les animaux empoisonnés par le curare présentaient généralement, après l'arrêt de la respiration, une continuation de la circulation pulmonaire due probablement à une sorte de tonicité particulière qui aurait son siége dans les poumons, mais que M. Claude Bernard n'a pas encore pu s'expliquer convenablement.

Circulation de la lymphe.

Pour terminer tout ce qui est relatif aux phénomènes mécaniques et circulatoires, nous dirons quelques mots du ménisme de la circulation de la lymphe et des propriétés de la lymphe elle-même.

La constitution de la lymphe est exactement la même que celle du sang, moins les globules rouges.

Les vaisseaux lymphatiques ne prennent pas, comme les veines, leur origine dans les artères; ils sortent du tissu conjonctif qui réunit les divers organes et qu'on appelle généralement, en France, le tissu cellulaire proprement dit. Cette question est, du reste, encore à l'étude. On sait cependant que ce tissu conjonctif possède beaucoup de vaisseaux capillaires qui n'ont pas de communications directes avec le système cir-

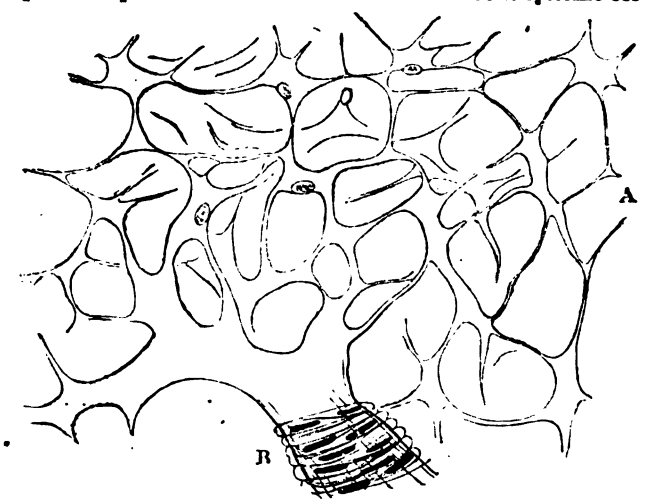


Fig. 11. — Schème représentant les origines des vaisseaux lymphatiques, d'après Leydig.

a. Réseau des corpuscules conjonctifs. — *b*. Origine d'un troncule lymphatique autonome avec sa couche *intima* homogène et sa couche musculeuse.

culatoire général. Les vaisseaux lymphatiques partent des profondeurs de ces tissus. Les vaisseaux lympatiques et les

Digitized by Google

vaisseaux chylifères qui ne sont en réalité que les vaisseaux lymphatiques des intestins se réunissent de proche en proche

Fig. 12. — Vaisseau lymphatique très-grossi avec ses valvulves.

pour aboutir à un réservoir placé en arrière du corps, près de la colonne vertébrale, et qu'on appelle la citerne de Pecquet. De là part un conduit spécial, le canal thoracique, qui remonte le long de la colonne vertébrale et se termine dans la veine sous-clavière gauche en y déversant la lymphe.

La lymphe est très-riche en urée, comme l'ont montré notamment les travaux de M. Wurtz, et l'on peut supposer que l'urée contenue dans le sang n'est tout simplement que celle qu'y verse la lymphe.

La circulation de la lymphe se fait à peu près sous l'influence des mêmes causes que celle du sang veineux. Cependant les mouvements de la respiration qui facilitent si notablement la circulation veineuse paraissent contraires à la circulation lymphatique, tandis que l'arrêt de la respiration la favorisent, et c'est ainsi qu'on explique le développement et l'activité toute nouvelle que prend la circulation lymphatique chez un animal soumis à l'influence de l'opium.

Parmi les vaisseaux lymphatiques, il faut distinguer les vaisseaux lymphatiques proprement dits et les vaisseaux chylifères: ces derniers jouent un rôle très-important dans la nutrition, et nous en parlerons en même temps que des sécrétions digestives.

Il existe dans les diverses parties du système lymphatique des ganglions lymphatiques ainsi que des fibres musculaires en rapport avec ces ganglions qui peuvent faciliter la circulation de la lymphe.

Enfin, on trouve encore des cœurs lymphatiques chez certains animaux, notamment chez les batraciens. La grenouille possède quatre cœurs lymphatiques placés à l'origine des quatre membres. Ce sont, du reste, de véritables cœurs contactiles avec valvules pour y régler les mouvements des liquides ; toute leur structure a été parfaitement décrite et elle est maintenant très-bien connue. Ces cœurs lymphatiques sont parfaitement indépendants des cœurs sanguins, et leurs contractions ne sont pas isochrones avec les siennes. Le système nerveux exerce sur eux une action directe et très-puissante, car le curare, poison qui détruit les propriétés du nerf moteur, arrête aussitôt les contractions des cœurs lymphatiques, tandis que le cœur sanguin n'est pas le moins du monde atteint et continue toujours à battre.

Il y a certains animaux qui possèdent des cœurs sanguins multiples placés sur le trajet du courant circulatoire sanguin. Ainsi, la chimère a deux cœurs situés de cette façon ; l'anguille a un cœur veineux vers la queue, etc. En outre, certaines artères sont quelquefois considérées comme des cœurs, parce qu'elles en remplissent plus ou moins les fonctions. La chauve-souris, par exemple, possède dans sa membrane des ailes des artères qui battent d'une manière isochrone et qui sont tout à fait comparables à des cœurs. Chez certains animaux, en effet, le cœur n'est plus constitué que par des vaisseaux qui se contractent d'une manière rhythmique. On trouve encore, dans les oreilles du lapin, un cœur artériel de ce genre qui donne également des pulsations rhythmiques. Chez le lapin, on sait que ce cœur est soumis au système nerveux vaso-moteur ; mais on n'a pas encore vérifié s'il en était de même pour les autres animaux qui ont des cœurs analogues. Par ce caractère, ces cœurs sanguins anormaux dont nous parlons se rapprochent des cœurs lymphatiques.

CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS.

CHIMIE AGRICOLE (1).

COURS DE M. BOUSSINGAULT
(de l'Institut.)

Développement de la graine. — Respiration des feuilles.

Nous avons vu, dans la leçon précédente, qu'il y avait dans l'atmosphère des gaz, des miasmes et des êtres infiniment petits dont le microscope nous révèle l'existence. Ces corps peuvent se répandre, se diffuser dans l'air en quantité très-petite et néanmoins affecter l'individu. Quelques exemples suffiront pour donner une idée de leur action sur l'organisme. Si je place un fragment de musc sur cette table, son odeur va se répandre rapidement dans tout l'amphithéâtre et la balance pourrait m'apprendre qu'il n'a perdu que quelques milligrammes de son poids. Cette quantité cependant a suffi pour donner à chacun la sensation du musc et les moyens que possède la chimie seraient impuissants pour en accuser la présence. Il en serait de même pour le camphre, l'essence de térébenthine et d'autres corps volatils et odorants. Il existe aussi dans l'air des corps malfaisants qui n'ont aucune odeur; les épidémies et les épizooties en sont un exemple. Les vapeurs de mercure qui se dégagent à la température ordinaire sont sans odeur et ont sur l'homme une action funeste. Elles produisent, chez ceux qui y sont exposés, un tremblement, une salivation abondante, la paralysie et quelquefois la mort. Cette quantité de vapeur est si petite, que l'on ne tient pas compte de sa présence dans la chambre barométrique. On sait, d'après la loi de Dalton sur le mélange des gaz et des vapeurs, qu'il se forme dans un gaz une quantité de vapeur absolument égale en poids à celle qui prendrait naissance dans le même espace s'il était vide, et qu'elle se mêle purement et simplement au gaz sans aucune condensation, en ajoutant sa pression à la sienne. On comprend alors que du mercure exposé à l'air émette des vapeurs absolument comme dans la chambre barométrique. La température peut en faire varier la quantité. Faraday, pour montrer l'existence de ces vapeurs mercurielles, fit l'expérience suivante : il plaça du mercure au fond d'un flacon et suspendit dans l'intérieur une lame d'or. On sait que l'or plongé dans le mercure devient blanc ; il se forme un amalgame entre ces métaux. Faraday plaça ensuite son flacon dans une enceinte dont la température constante était de 10 degrés. Il vit la lame d'or devenir blanche : l'expérience était concluante, le mercure à cette température émettait des vapeurs. On peut raconter à ce sujet ce qui arriva à l'équipage d'un navire espagnol. Almaden possède des mines de mercure d'une grande richesse, et l'on sait que ce métal est employé dans l'extraction de l'or et de l'argent. Vers la fin du siècle dernier, un trois-ponts espa-

(1) Voyez le numéro précédent.

Digitized by Google

gnol, chargé de mercure, quittait Cadix pour se rendre à la Vera-Cruz. Alors les bouteilles de fer n'étaient pas en usage, on se servait pour le transport du mercure de bouteilles de verre. Le bâtiment éprouva du roulis, des bouteilles se cassèrent. C'était aussi l'époque pendant laquelle la France et l'Espagne étaient alliées contre l'Angleterre : le bâtiment espagnol fut canonné par un navire anglais, d'autres bouteilles furent brisées. Pendant la traversée, tous les hommes de l'équipage furent atteints de tremblement et de paralysie. A la Vera-Cruz, le bâtiment fut vidé ; on le nettoya avec le plus grand soin, on renouvela l'équipage et l'on fit un chargement d'argent. Pendant la traversée du retour, tout le monde éprouva encore l'action mercurielle. Le métal qui s'était introduit dans les jointures du bateau avait suffi pour causer cet accident. Ce bâtiment, qui valait plus de trois millions, fut démoli.

Il nous reste maintenant à chercher comment l'atmosphère est en relation avec les corps organisés. Tout être organisé naît d'un germe : pour les plantes, le germe est dans la graine ; pour les animaux, il est dans l'œuf.

Il y a une analogie remarquable entre la graine et l'œuf ; en effet, la constitution physique et chimique est la même, ainsi que l'indique le tableau suivant :

Constitution physique.

Graine.	Œuf.
Embryon.....	Cicatricule-embryon.
Cotylédons.....	Vitellus (jaune). Matière glaireuse (blanc).

Constitution chimique.

Graine.	Œuf.
Matières grasses.....	Albumine.
Amidon, glycose.....	Sucre de lait, glycose.
Soufre, phosphore.....	Soufre, phosphore.
Phosphate de chaux.....	Phosphate de chaux.

On remarque encore que pendant la germination d'une graine, celle-ci se conduit vis-à-vis de l'atmosphère de la même manière qu'un animal. L'un et l'autre ont besoin de l'air atmosphérique, absorbent de l'oxygène et exhalent une quantité sensiblement équivalente d'acide carbonique. L'expérience prouve ces faits. Dans un flacon contenant du sable et de l'air, on place une graine que l'on a humectée afin de lui rendre la vie qui avait été suspendue pendant la dessiccation ; dans un second flacon rempli d'air seulement, on suspend un œuf ; puis tous deux étant placés dans des conditions de température favorables à la germination et à l'incubation, on voit aussitôt que le développement des corps s'effectue, qu'il y a une action sur l'air, absorption de l'oxygène, exhalation d'acide carbonique. Pour l'œuf, le phénomène a lieu à travers la paroi poreuse de la coquille calcaire ; pour la plante, par le simple contact avec l'air. On constate la présence de l'acide carbonique dans les deux flacons en recueillant l'air qui s'y trouve et en ajoutant un peu d'eau de chaux.

Revenons au développement de la graine. L'embryon est accompagné d'un périsperme ou il en est dépourvu. S'il y a un périsperme, celui-ci se ramollit par l'action combinée de la chaleur et de l'humidité ; sa nature chimique change aux dépens des éléments que lui fournit l'oxygène de l'air et de l'eau. L'embryon, en contact avec lui, par la totalité ou par la plus grande partie de son contour, absorbe ces matières devenues aptes à le pénétrer par leur état de solution, et à le nourrir par les modifications qu'elles viennent de subir. Ainsi nourri, il grandit dans la même proportion que le périsperme décroît, et finit par remplir tout l'intérieur de la graine, où il n'occupait qu'un espace plus ou moins limité. Alors le périsperme a disparu et l'embryon ne peut plus s'étendre qu'en rompant les téguments qui, ramollis, opposent une résistance de moins en moins grande. S'il n'y a pas de périsperme et que l'embryon remplisse déjà, au moment de la dissémination, toute la cavité de la graine, il est clair que la germination devra être considérablement abrégée, puisque ces parties auront dès lors acquis un bien plus grand développement que dans les cas précédents. En général, ce sont les cotylédons qui forment alors la plus grande partie de la masse embryonnaire, et l'on doit remarquer que, dans ce cas, leur nature est analogue à celle du périsperme ; c'est une masse celluleuse dont les cellules sont remplies de fécule (haricots, pois, etc.), ou charnues et contiennent de l'huile (noix, colza, etc.). Cette masse joue, par rapport au reste de l'embryon, le rôle de périsperme, subit des changements analogues à ceux que nous avons vus s'opérer dans celui-ci, et fournit ainsi la nourriture à la radicule et à la gemmule. Les cotylédons tombent, la tige s'élève, les feuilles se développent, ensuite les fleurs et enfin la graine. Après la maturité de la graine, la nature a atteint son but, l'espèce peut se conserver et se reproduire.

La graine, en se développant, donne naissance à une plante dont le poids devient incomparablement plus considérable que le poids de la graine ; ainsi le gland et le chêne. De cette observation on fut conduit à rechercher d'où venait cette matière qui s'emmagasine dans la plante. On prit 2gr,44 de froment contenant 1,132 de carbone, 0,141 d'hydrogène, 0,082 d'oxygène et 0,085 d'azote. On fit germer ce froment, et, après l'apparition des radicules, on ne trouva, dessiccation faite, que 2gr,37, qui se répartissent ainsi : carbone 1,111, hydrogène 0,139, oxygène 0,035, azote 0,085. La différence totale est de 0,07, dont 0,021 de carbone, 0,002 d'hydrogène et 0,047 d'oxygène. La plante avait donc perdu du carbone, de l'oxygène et de l'hydrogène.

Dans une autre expérience, on a laissé végéter 1gr,65 de froment pendant deux mois. Après dessiccation, on trouva 3gr,02, il y avait acquisition de 1gr,37 qui se répartissaient ainsi : 0,689 d'acide carbonique, 0,078 d'hydrogène, 0,603 d'oxygène. Quant à l'azote, la quantité est la même. On voit, par les nombres qui précèdent, que dans la première phase de son développement la plante perd de son poids ; tandis que dans la seconde, elle l'augmente en puisant dans le milieu ambiant de l'acide carbonique, de l'hydrogène et de l'oxygène.

Ce sont les feuilles qui sont chargées d'emmagasiner le carbone de la plante, et la force qui détermine cette action est la lumière. En effet, on fit germer 2gr,237 de pois dans une chambre obscure : en deux mois de végétation la plante atteignit une longueur de 1 mètre. Après dessiccation, elle pesait 1,094 ; la perte était de 1,143. La lumière du soleil avait manqué, la plante s'était développée avec sa matière propre et elle n'avait pas pris de carbone à l'air qui l'environnait. Cette plante n'avait pas les caractères de celles qui croissent sous l'action de la lumière, les feuilles étaient jaunes, elle était étiolée.

Lorsqu'une plante se développe dans l'obscurité, elle se

Digitized by Google

conduit vis-à-vis de l'air absolument comme un animal vivant; l'analyse a montré que des graines de maïs, qui avaient germé sans le concours de la lumière, avaient consommé du sucre et de l'huile.

On a observé que pendant l'incubation et la germination, il y avait dégagement de chaleur, et que la plante et l'animal produisaient non-seulement de l'acide carbonique, mais encore de l'acide urique et de l'urée.

Quand une plante végète à la lumière, elle s'assimile, comme l'expérience nous l'indique, de l'hydrogène, de l'oxygène et du carbone. L'hydrogène vient de l'eau, l'oxygène de l'eau et de l'air, et, enfin, le carbone est fourni par les quelques millièmes d'acide carbonique répandus dans l'atmosphère. Le carbone de la plante ne vient pas du sol, car on a pu faire croître des plantes dans du sable et dans de la pierre calcinée. Une expérience que chacun peut répéter facilement démontre que l'acide carbonique est décomposé par les feuilles, lorsque celles-ci sont exposées à la lumière : on introduit dans un ballon des feuilles et de l'eau distillée, on sature cette eau d'acide carbonique et l'on expose le tout à l'action de la lumière solaire. On voit à l'instant des bulles sortir de toutes les feuilles. Si l'on recueille le gaz, on constate facilement que c'est de l'oxygène. Cette décomposition mérite d'attirer l'attention, car une feuille exposée à la lumière solaire opère la désagrégation de l'oxygène et du carbone, combinés dans l'acide carbonique, tandis que la chimie n'y parvient que par des réactions très-énergiques. Il faut ajouter que ce n'est pas une décomposition totale, mais partielle, de l'acide carbonique en oxyde de carbone et en oxygène.

Cette admirable découverte de la respiration des plantes fut faite par Priestley, qui vit par hasard des bulles de gaz se dégager d'un fontaine au fond de laquelle se trouvait une végétation verte. Il recueillit ce gaz et reconnut qu'il avait les propriétés de l'air vital. Ingenhousz démontra que pour qu'il y eût production de ce gaz il fallait la présence de la lumière solaire. Cependant l'expérience ne réussissait pas toujours. Alors un observateur de Genève, Senebier, trouva qu'il fallait encore, dans l'eau, la présence de l'acide carbonique.

Les feuilles qui opèrent le phénomène de la dissociation de l'acide carbonique sont des organes de couleur verte, ayant ordinairement la forme de lames minces et membraneuses, portées par les tiges et les rameaux. Elles sont formées par l'épanouissement de faisceaux, de fibres qui, en se ramifiant et en s'anastomosant entre elles de mille manières différentes, forment une espèce de réseau dont les mailles sont remplies par du tissu cellulaire. Les feuilles se composent toujours de trois parties : d'un faisceau vasculaire dont les ramifications et les anastomoses forment les nervures; de tissu cellulaire, nommé parenchyme, remplissant les intervalles des nervures; d'un épiderme ou membrane mince et transparente recouvrant les deux faces de la feuille et criblée de petites ouvertures appelées stomates, qui donnent passage à l'air et autres fluides gazeux que la plante absorbe et rejette incessamment. Le parenchyme est formé d'utricules pressés les uns contre les autres, de manière à ne laisser entre eux que d'étroits méats; dans chacun de ces utricules, il y a un globule coloré en vert et que l'on nomme la chlorophylle. Cette substance, dont la nature n'est pas encore bien connue des chimistes, joue un grand rôle dans la vie de la plante. Une feuille privée de chlorophylle et exposée à la lumière solaire ne décompose plus l'acide carbonique de l'air. Une feuille rappelle l'organisation de certains polypes; on peut la couper en plusieurs parties et chacune fonctionnera comme la feuille entière. Cependant il ne faut pas que la feuille soit broyée, car la chlorophylle étant écrasée perdrait la propriété d'agir sur l'air.

On peut croire qu'il y a des plantes sans feuilles, c'est une erreur. Le cactus, par exemple, qui paraît en être dépourvu, n'est cependant qu'une réunion de feuilles, si toutefois on appelle de ce nom l'organe de la respiration chez les végétaux. Il faut remarquer aussi que les parties d'une plante qui ne sont pas colorées en vert sont sans action sur l'acide carbonique de l'atmosphère. Une racine fonctionne comme une graine qui commence à germer. Cherchons maintenant à nous rendre compte de l'action d'une feuille sur l'acide carbonique. Il semblerait, d'après ce qui précède, qu'une feuille placée dans l'acide carbonique pur et exposée au soleil va immédiatement décomposer cet acide et s'assimiler le carbone; l'expérience démontre qu'il en est autrement. Une feuille est introduite dans 100 centimètres cubes d'acide carbonique; après trois heures d'exposition au soleil, on trouve encore 100 centimètres cubes d'acide carbonique et pas d'oxygène.

Dans une autre expérience, une feuille est exposée au soleil pendant huit heures dans 70 centimètres cubes d'air et dans 32 centimètres cubes d'acide carbonique.

	Acide carbonique.	Oxygène.	Azote.
	cc.	cc.	cc.
Avant l'exposition.....	32,2	14,7	55,3
Après l'exposition.....	00,0	46,9	55,3
Différence.....	— 32,2	+ 32,2	00,0

Ainsi les résultats montrent que la feuille a absorbé 32,2 de carbone, et que 32,2 d'oxygène ont apparu. L'acide carbonique ayant été décomposé en présence de l'air, on voit qu'il faut un mélange de ces deux gaz pour que l'assimilation ait lieu. Cependant l'expérience montre aussi que d'autres gaz peuvent remplacer l'air; l'azote et l'hydrogène sont dans ce cas. Ainsi :

Une feuille de laurier-cerise, exposée au soleil pendant six heures, dans un mélange de gaz azote et d'acide carbonique, donne les résultats suivants :

	Gaz.	Acide carbonique.	Oxygène.	Azote.
	cc.	cc.	cc.	cc.
Avant l'exposition...	73,1	26,6	00,0	46,5
Après l'exposition...	73,7	1,1	25,5	47,1
Différence.....	+ 00,6	— 25,5	+ 25,5	+ 00,6

Une feuille de laurier-cerise, exposée au soleil pendant sept heures dans un mélange de gaz hydrogène et de gaz acide carbonique, donne :

	Gaz.	Acide carbonique.	Oxygène.	Hydrogène.
	cc.	cc.	cc.	cc.
Avant l'exposition...	84,8	29,3	00,0	55,5
Après l'exposition...	84,9	1,9	27,7	55,3
Différence.....	+ 00,1	— 27,4	+ 27,7	— 00,2

Ces expériences suffisent pour prouver que l'oxygène de l'air n'intervient pas dans le phénomène de la décomposition de l'acide carbonique.

Il y a une grande analogie entre la désassociation de l'acide

Digitized by Google

carbonique par les parties vertes des végétaux et la combustion lente du phosphore, quoique le premier phénomène consiste à séparer le carbone de l'oxygène et le second à unir un combustible avec l'oxygène à la température ordinaire.

1° En effet, le phosphore placé dans l'oxygène pur n'émet pas de lumière, ne brûle pas.

Les feuilles exposées au soleil dans l'acide carbonique pur ne le décomposent pas.

2° Le phosphore placé dans un mélange d'oxygène et d'air atmosphérique brûle en devenant lumineux.

Les feuilles, exposées au soleil dans un mélange d'air atmosphérique et d'acide carbonique, décomposent rapidement ce gaz.

3° Le phosphore placé dans de l'oxygène, mêlé, soit à du gaz azote, soit à du gaz hydrogène, brûle en émettant de la lumière.

Les feuilles exposées au soleil décomposent rapidement l'acide carbonique quand ce gaz est mêlé, soit à du gaz azote, soit à du gaz hydrogène.

L'analogie peut être poussée plus loin : un cylindre de phosphore ne brûle pas, n'est pas phosphorescent dans le gaz oxygène pur à la pression ordinaire, mais il devient lumineux et brûle aussitôt que cette pression diminue. Une feuille placée dans une éprouvette exposée au soleil et contenant du gaz acide carbonique pur ne décompose pas cet acide à la pression ordinaire, mais une feuille semblable, mise dans les mêmes conditions, décompose cet acide si l'on vient à diminuer la pression. Il ne paraît donc pas invraisemblable que la désassociation des éléments de l'acide carbonique par les feuilles soit déterminée par les mêmes causes mécaniques qui favorisent, à la température ordinaire, l'association d'un combustible et de l'oxygène, savoir : l'intervention des gaz inertes, ayant pour effet d'écarter les atomes d'acide carbonique. Ces gaz inertes agissent sur le gaz actif comme le ferait une diminution de pression.

On peut se demander si la force qui fait qu'une feuille décompose l'acide carbonique est limitée ou non. L'expérience a montré que cette force diminue.

Une feuille de 44 centimètres carrés a été placée dans l'acide carbonique et exposée au soleil :

	Acide carbonique.		Oxygène.
	cc.		cc.
Le 1er jour elle a décomposé	33,7	et produit	33,7
Le 2e jour.....	23,7		23,7
Le 3e jour.....	9,3		9,3
Le 4e jour.....	0,0		0,0
Total..... ..	66,7		66,7

Par centimètre carré, la feuille avait pu décomposer 1cc,5 d'acide carbonique. Une feuille qui serait mise chaque soir dans un vase contenant de l'air et exposée à l'obscurité, fonctionnerait le matin comme si elle venait d'être arrachée de l'arbre. Une feuille peut mourir asphyxiée comme un animal meurt asphyxié. En effet, une feuille placée dans du gaz hydrogène pur pendant un certain temps, et mise ensuite dans un mélange d'air et d'acide carbonique, serait sans action sur ce gaz.

Voyons ce qui arrive lorsqu'une feuille respire dans l'obscurité.

Une feuille de 40 centimètres carrés de surface, laissée à l'obscurité dans l'air atmosphérique pendant vingt-quatre heures, a donné les résultats suivants :

	Acide carbon.		Oxygène.	Azote.
	cc.		cc.	cc.
Au commencement de l'expérience, l'air contenait.....	0,0		18,0	67,8
Après les vingt-quatre heures.....	8,1		9,6	67,8
Différence.....	+ 8,1	—	08,4	00,0

La feuille a fait de l'acide carbonique, et par conséquent brûlé de l'oxygène.

Il y a donc dans la plante deux fonctions antagonistes : l'une se manifeste sous l'action de la lumière, la feuille décompose l'acide carbonique, et absorbe de l'oxygène ; l'autre se manifeste dans l'obscurité, la feuille prend de l'oxygène et fait de l'acide carbonique. Mais alors si le végétal se développe, si la plante augmente de poids, il faut nécessairement que l'une de ces forces soit plus grande que l'autre. En effet, la force qui agit avec le concours de la lumière l'emporte de beaucoup sur celle qui existe pendant le séjour de la plante dans l'obscurité. L'expérience démontre que des feuilles de laurier-rose exposées à la lumière solaire décomposent, par mètre carré, 1 litre 11 centilitres d'acide carbonique, et que, dans l'obscurité, elles n'en produisent que 7 centilitres. — Henri Amaury.

LIBRAIRIE GERMER BAILLIÈRE.

BIBLIOTHÈQUE D'HISTOIRE CONTEMPORAINE,

vol. in-18 à 3 fr. 50 c.

CARLYLE. HISTOIRE DE LA RÉVOLUTION FRANÇAISE, traduite de l'anglais par M. Élias Regnault.
Tome Ier : *la Bastille.*
Tome II : *la Constitution.*
Tome III et dernier : *la Guillotine.*

VICTOR MEUNIER. SCIENCE ET DÉMOCRATIE. 2 vol.

JULES BARNI. HISTOIRE DES IDÉES MORALES ET POLITIQUES EN FRANCE AU XVIIIe SIÈCLE. 2 vol.
Tome Ier (Introduction. — L'abbé de Saint-Pierre. — Montesquieu. — Voltaire).
Tome II (Jean-Jacques Rousseau. — Diderot. — D'Alembert).

AUGUSTE LAUGEL. LES ÉTATS-UNIS PENDANT LA GUERRE (1861-1865). Souvenirs personnels.

DE ROCHAU. HISTOIRE DE LA RESTAURATION, traduite de l'allemand par M. Rosenwald. 1 vol.

EUG. VÉRON. HISTOIRE DE LA PRUSSE depuis la mort de Frédéric II jusqu'à la bataille de Sadowa. 1 vol.

HILLEBRAND. LA PRUSSE CONTEMPORAINE ET SES INSTITUTIONS. 1 vol.

EUG. DESPOIS. LE VANDALISME RÉVOLUTIONNAIRE. Fondations littéraires, scientifiques et artistiques de la Convention. 1 vol.

ÉLIAS RÉGNAULT. HISTOIRE DU MOUVEMENT SOCIALISTE PENDANT LA RÉVOLUTION DE 1848. 1 vol.

FORMAT IN-8.

SIR G. CORNEWALL LEWIS. HISTOIRE GOUVERNEMENTALE DE L'ANGLETERRE DE 1770 JUSQU'A 1830, traduite de l'anglais et précédée de la Vie de l'auteur, par M. MERVOYER. 1 vol.

DE SYBEL. HISTOIRE DE LA RÉVOLUTION FRANÇAISE. 3 vol. in-8, traduite de l'allemand (*sous presse*).

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE NUMÉRO 3 16 DÉCEMBRE 1865

COLLÉGE DE FRANCE.

HISTOIRE DES SCIENCES MÉDICALES.

COURS DE M. DAREMBERG.

Discours d'ouverture.—Résumé de l'histoire de la médecine, depuis son origine jusqu'au VIIIe siècle après J. C.

MESSIEURS,

Durant l'année scolaire qui vient de s'écouler (1864-1865), j'ai eu l'honneur de faire devant vous quarante-huit leçons, et j'ai conduit l'histoire de la médecine depuis ses origines jusqu'au VIIIe siècle après Jésus-Christ, c'est-à-dire jusqu'à l'époque où la médecine ancienne, définitivement constituée par Galien et perfectionnée en quelques points par ses successeurs immédiats, passe aux mains de peuples nouveaux qui conservent soigneusement un héritage dont l'origine remonte pour nous jusqu'à Homère. Beaucoup de broussailles ont poussé sur ce champ jadis si fertile; quelques portions même ont été aliénées, mais on reconnaît toujours la forte empreinte du génie grec; au milieu des plus grands bouleversements dont l'histoire ait conservé le souvenir, c'est-à-dire durant le Ve, le VIe, le VIIe et le VIIIe siècle, la vieille médecine reparaît vivante encore dans les traductions et les amplifications latines.

Après avoir parcouru une aussi longue carrière, où tant de noms, tant de faits, tant de doctrines, se sont présentés successivement à notre examen et à nos méditations, il est bon de revenir sur le sommet où nous nous sommes arrêtés pour de là contempler la route que nous avons parcourue et en marquer brièvement les diverses étapes.

Nous avons trouvé les origines de la médecine grecque non pas dans l'Inde, non pas dans la Chine, ni dans l'Égypte, ni chez les Juifs, mais en Grèce même et dans les poëmes homériques. Je ne sais pas, et personne ne sait ce qu'il y avait avant Homère, mais ce que j'affirme, avec tous les critiques, c'est qu'Homère est déjà l'écho d'une culture intellectuelle assez avancée; ce que j'affirme aussi, en ce qui nous concerne, c'est que l'*Iliade* et l'*Odyssée* renferment en germe toutes les connaissances médicales des temps postérieurs : la nomenclature anatomique est la même que dans Hippocrate, il n'y a d'autre différence que celle du plus au moins; les rares vestiges de doctrines physiologiques qu'on remarque dans Homère prennent une forme plus arrêtée chez les philosophes et chez les médecins; la chirurgie repose déjà sur des principes dont nous avons constaté le développement dans la Collection hippocratique; enfin nous savons maintenant à n'en pouvoir douter que la médecine avait, au temps d'Homère, une existence aussi réelle que la chirurgie.

La médecine grecque, cette médecine que nous connaissons surtout par Hippocrate et par Galien, et qui s'est répandue dans le monde entier avec la renommée de ses représentants les plus illustres, est un produit autochthone : c'est de la Grèce et de nulle part ailleurs que nous vient directement, et presque sans aucun alliage étranger, notre médecine actuelle; c'est en vertu de ses propres forces que la médecine grecque s'est transformée et qu'elle a fait tant et de si belles conquêtes. Havey, Bichat, Broussais, sont les héritiers légitimes d'Hippocrate, d'Hérophile, de Galien, de Bérenger de Carpi et de Vésale, comme Hippocrate est l'héritier d'Homère, comme le chantre divin de la colère d'Achille est lui-même le fils d'une civilisation antérieure que nous connaissons seulement par ses résultats. Quels ancêtres, messieurs, et quels quartiers de noblesse! quel spectacle digne de respect et d'admiration, que de voir ainsi le flambeau de la science passer de mains en mains depuis bientôt trois mille ans, et arriver jusqu'à nous brillant des plus vives clartés! C'est par les reflets de l'Occident qu'à son tour l'Orient, berceau primitif de la race pélasgique, a été un moment illuminé. Ce qu'il y a eu de science médicale dans l'Inde ancienne, chez les Syriens, les Arabes ou les Juifs, vient des Grecs, et les Arabes ne nous ont rapporté, après l'invasion, que ce qu'ils nous avaient pris lorsque des relations suivies se furent établies entre l'Orient et l'Occident. Pour celui qui envisage l'histoire dans sa généralité, l'étude de la médecine chez les Arabes n'est qu'un accident; elle n'a profité en rien à l'Orient, et peut-être a-t-elle moins aidé qu'on ne le pense aux progrès de la médecine en Occident.

La médecine grecque n'est sortie ni des temples ni des gymnases, ni des écoles de philosophie, mais de l'*officine* des médecins. Dans Homère, la médecine est tout humaine, et jusque sur l'Olympe, le médecin des dieux use des moyens qui sont familiers aux médecins de l'armée grecque. S'il est vrai qu'entre Homère et Hippocrate on trouve des traces nombreuses d'une médecine théurgique, il est également certain que la médecine naturelle n'a jamais été ni anéantie ni même éclipsée, pas plus qu'elle ne l'est aujourd'hui par tous les concurrents que nous suscitent la superstition, le charlatanisme, le fluide magnétique et les esprits; à plus forte raison n'est-on pas en droit de soutenir que la médecine des temples est la seule qui ait été pratiquée entre Homère et Hippocrate. C'est en fouillant les ruines de la littérature classique que nous avons retrouvé les débris de la médecine exercée et pratiquée par des hommes de science

Digitized by Google

et non pas les prêtres d'Esculape. Nous avons, à ce propos, soigneusement distingué le *Asclépiades* desservant le sanctuaire du dieu, des *Asclépiades* médecins descendant d'Esculape par ses deux fils Machaon et Podalire; cette distinction, qui repose sur des témoignages inattaquables, suffirait à elle seule pour anéantir le système de ceux qui veulent à tout prix donner à la médecine une origine sacerdotale. Longtemps avant Hippocrate, il y a des écoles médicales laïques à Cos, à Cnide, à Rhodes, à Crotone, à Cyrène; nous rencontrons des *médecins* et non des *prêtres* dans toutes les grandes villes, à Athènes, à Samos, à Égine, et jusqu'à la cour des rois de Perse.

C'est au temps de Platon et d'Hippocrate, quand la médecine est déjà florissante, que les gymnastes font la plus vive concurrence aux médecins en soignant les blessures, comme nos rebouteurs, et en s'ingérant dans le traitement des maladies, surtout des maladies chroniques, comme cela est encore pratiqué de nos jours par les maîtres de gymnastique; par conséquent, c'est la gymnastique qui usurpe les droits de la médecine, et non la médecine qui s'est enrichie des enseignements de la gymnastique; l'hygiène seule lui est redevable de quelques perfectionnements; c'est Hippocrate qui le dit, et il faut le croire.

Nous ne devons guère plus aux philosophes anté-socratiques qu'aux prêtres d'Esculape et aux gymnastes. C'est une véritable mystification que de les avoir présentés aux lecteurs crédules comme des anatomistes et comme des médecins; à en juger par leur biographie, et surtout par les fragments qui nous restent de leurs œuvres, la médecine des philosophes consiste en jonglerie, et les échantillons de leur prétendu savoir anatomique, même lorsqu'ils s'avisent de nous donner une description de l'ensemble des vaisseaux, prouvent qu'ils n'ont jamais disséqué, et que toute leur science est un produit non de l'observation, mais de l'imagination; ils se placent, sous ce rapport, beaucoup au-dessous d'Homère. Homère observait la nature, les philosophes voulaient l'expliquer en fermant les yeux. Je n'ai jamais pu comprendre l'étrange prétention des historiens de vouloir à toute force faire des médecins avec des prêtres, avec des gymnastes ou avec des philosophes, quand ces historiens avaient sous la main tant de preuves de l'existence indépendante de la science et de la pratique médicales; surtout quand le raisonnement pouvait les convaincre que pour faire de la médecine il faut nécessairement des médecins.

L'influence des philosophes ne s'est exercée sur la médecine que par la physiologie. On retrouve, dans la Collection hippocratique, des témoignages positifs de cette influence; déjà Hippocrate la trouvait pernicieuse; il soutenait que la médecine ne relevait que d'elle-même; il voulait l'affranchir des hypothèses enfantées par les philosophes dans leurs cosmogonies et la ramener dans ses propres voies; il est vrai qu'Hippocrate substitue trop souvent les hypothèses médicales aux hypothèses philosophiques; mais la séparation n'en est pas moins réelle dans l'intention, et elle montre quelle place il faut assigner dans l'histoire de la médecine à la philosophie anté-socratique.

Ésope disait qu'il n'y a rien de meilleur et rien de plus mauvais que la langue; j'en dirais volontiers autant de la physiologie. Il n'y a rien de meilleur qu'une bonne physiologie, ou du moins qu'une physiologie qui, reposant sur l'expérience, porte en elle-même des germes inépuisables de perfectionnement; une telle physiologie réforme la médecine et transforme la thérapeutique; mais aussi il n'y avait rien de plus désastreux, de plus contraire aux progrès de la pathologie, qu'une mauvaise physiologie, surtout qu'une physiologie à priori, qui, chaque jour, trouve en elle-même les meilleures raisons de s'enfoncer de plus en plus dans les ténèbres et d'enchaîner l'essor de la science. C'est ce que nous avons pu constater presque à chacune de nos leçons. C'est en vain que les observations les plus délicates et les plus difficiles se multiplient dans l'école hippocratique; c'est en vain qu'à Alexandrie les recherches anatomiques les plus précises dévoilent presque tous les secrets de notre structure ou de celle des animaux; les idées sont plus entêtées que les faits, la physiologie résiste si bien qu'elle plie à son usage, ou plutôt qu'elle dénature, pour les ranger sous sa loi, toutes les découvertes de l'anatomie, toutes les conquêtes de la pathologie. Parfois même on crée une anatomie de fantaisie pour se conformer aux exigences de la physiologie et, par suite, à celles de la pathologie. C'est ainsi que les Cnidiens ont imaginé une angéiologie pour faire arriver les fluxions du cerveau à toutes les parties du corps. Voici quelques autres preuves décisives de ce que j'avance : Dans le traité hippocratique *Du cœur*, le cœur est décrit avec une exactitude merveilleuse, et cet organe, où presque rien ne manque pour servir à la circulation du sang, est employé par l'auteur à des fonctions imaginaires et ridicules. A quelques siècles de distance, Galien, pour mettre d'accord la structure du cœur et la circulation des esprits, ne trouve rien de mieux que de percer la cloison qui sépare les deux ventricules. Quand l'auteur des *Épidémies* rapporte des observations de fièvre rémittente, ou qu'il les résume dans un tableau symptomatologique, sans y mêler aucune hypothèse physiologique, nous reconnaissons chacun des traits de la maladie et nous admirons la sûreté et la profondeur du coup d'œil d'Hippocrate; puis quand, au contraire, nous étudions les ouvrages où domine la théorie des fluxions, nous entrevoyons bien qu'en plus d'un passage il s'agit encore de cette même fièvre, mais elle est pour ainsi dire disloquée, et l'on n'en rencontre plus que les membres épars au milieu de toutes les explications à l'aide desquelles on cherche à se rendre compte des divers symptômes; l'unité morbide a disparu pour faire place à des états pathologiques qu'il faut péniblement rapprocher les uns des autres pour leur restituer leur véritable signification. Au contraire, lorsque, entre les mains de Galien, la méthode expérimentale, déjà maniée à l'école d'Alexandrie, a transformé la physiologie du système nerveux, aussitôt la pathologie et la thérapeutique changent d'aspect, et le médecin de Pergame peut se donner le malin plaisir de confondre ses confrères et leur infliger des leçons, parfois un peu brutales, de diagnostic rationnel. Ainsi l'anatomie peut préparer les voies à la physiologie, mais à elle seule elle est incapable de la réformer.

Cette vue générale sur le rôle de la physiologie m'a beaucoup servi autrefois dans la classification des périodes de l'histoire de la médecine; elle me sert chaque jour à déterminer, soit la nature, soit l'étendue des progrès de la pathologie dans la suite des siècles, à juger avec impartialité les hommes et leurs écrits, à me rendre compte de la succession et de l'enchaînement des systèmes. C'est une lumière qui n'égare jamais et qui permet toujours de retrouver son chemin au

Digitized by Google

milieu de ces mille détours où se complaît l'esprit humain pour éviter la ligne droite. Je comprends « l'aridité d'un exposé didactique qui embrasse indistinctement toutes les époques de la science et promène lentement l'auditeur rebelle à travers les siècles », si dans cet exposé le professeur se contente de mettre bout à bout les faits, les noms et les dates, sans chercher jamais à dominer son sujet ni à éclairer sa route; mais alors l'aridité est à la charge de l'historien et non pas à la charge de l'histoire.

Est-ce que l'histoire de la médecine échapperait seule aux conditions de toutes les autres histoires? Est-ce que seule elle perdrait à être présentée dans son ensemble? Est-ce que, seule encore, elle deviendrait à la fois moins stérile et plus attrayante si elle était adjugée par morceaux comme les thèses de concours ou les sujets d'examen? Pourquoi donc ne conseille-t-on pas d'enseigner ainsi la pathologie, la chimie et la médecine légale; je ne crois pas que la compétence soit plus universelle chez un professeur de pathologie interne ou de thérapeutique, que chez un professeur d'histoire, ni que l'histoire de la médecine ne mérite pas autant de considération que la pathologie. — Si l'histoire est utile, qu'on la traite avec respect; si elle ne sert à rien, qu'on l'avoue et qu'on n'en parle plus; ce sera plus simple et moins compromettant.

Ces réflexions me ramènent d'un peu loin, mais directement, à Hippocrate. Lorsqu'un médecin célèbre, M. Double, disait, au sein de l'Académie de médecine, « qu'Hippocrate *seul, sans antécédents*, sans rien avoir emprunté aux siècles qui l'avaient précédé, puisqu'ils n'avaient rien produit, ouvre à l'esprit la route de la vraie médecine », il était précisément de ceux qui, étudiant l'histoire par fragments, ne savent presque rien de ce qui précède et pas grand'chose de ce qui suit, de sorte qu'ils ne peuvent porter que des jugements erronés ou incomplets. Nulle part, dans la collection hippocratique, les auteurs ne se donnent comme les premiers qui aient défriché le champ de la médecine; presque tous, au contraire, parlent d'une médecine beaucoup plus ancienne, et quelques-uns même renvoient à des livres aujourd'hui perdus.

J'ai laissé de côté les fables débitées sur Hippocrate; j'ai établi qu'à l'exception d'un ou de deux traités, il n'était pas possible de lui attribuer avec sûreté un seul des ouvrages qui ont été publiés sous son nom; dans la classification nouvelle que j'ai proposée, je me suis surtout attaché à former des groupes naturels en prenant pour point de départ d'abord la considération des doctrines, puis diverses circonstances plus extérieures, si je puis ainsi parler, mais non moins importantes. Les livres originaux ont été rapprochés des recueils de notes qui leur ont donné naissance, ou des compilations dont ils ont eux-mêmes fourni les matériaux; maintenant il reste peu de traités isolés, et le chiffre des écrits cnidiens s'est trouvé augmenté par l'annexion légitime d'écrits qui, jusqu'ici, passaient pour hippocratiques.

Dans Hippocrate, l'anatomie, qu'elle soit exacte ou de fantaisie, cela n'importe pas en ce moment, a une tendance pratique que j'ai cherché à mettre en relief par des exemples nombreux, tirés soit des traités de médecine, soit des traités de chirurgie. En d'autres termes, l'anatomie n'est plus une science d'occasion et n'est pas encore un domaine de l'histoire naturelle ou de la biologie; ce n'est qu'un instrument de la médecine pratique.

C'est surtout par l'étude des fractures et des luxations que, dans Hippocrate, l'anatomie a fait des progrès; et comme il est assez difficile d'avoir des idées préconçues sur la forme des os, sur la nature et sur l'étendue des mouvements, sur les modifications que ces mouvements peuvent subir en raison des accidents ou des maladies dont ils deviennent le siége, la physiologie des membres est déjà fort avancée, et l'invasion des hypothèses n'a pas altéré les résultats d'observations anatomiques très-précises. Le reste de la physiologie ne vaut guère mieux dans Hippocrate que dans les philosophes. Loin de se réformer, elle a pris pleine et entière possession de l'erreur, mais nous trouvons dans la Collection hippocratique une proposition fondamentale et qui doit faire excuser bien des fautes et bien des omissions, puisqu'elle est précisément la base de tous nos jugements pour Hippocrate lui-même et pour ses successeurs; cette proposition, c'est que la pathologie n'est rien autre chose qu'une portion de la physiologie, et qu'il faut connaître l'homme sain et tout l'ensemble des choses pour bien traiter l'homme malade.

Je n'ai pas un instant perdu de vue la distinction essentielle des livres cnidiens et des livres hippocratiques. Les médecins de Cnide multiplient à l'infini les espèces morbides; les médecins de Cos s'attachent, au contraire, à la considération de l'état général. Je crois même avoir démontré que cette manière d'envisager la médecine résulte en grande partie de la considération à peu près exclusive du caractère spécial qui domine le règne pathologique dans le milieu où les hippocratiques ont exercé. En effet, la grande maladie de la Grèce (îles et continent), celle qui met son empreinte sur presque toutes les autres affections, c'est la fièvre rémittente ou pseudo-continue; il n'y a, pour ainsi dire, pas un traité sorti de l'école de Cos qui n'en reproduise quelques-uns des traits; pas un où l'esprit de l'auteur ne soit dirigé de ce côté.

Si l'on se place à ce point de vue pour étudier, par exemple, le traité *Du pronostic* et celui *Du régime dans les maladies aiguës*, on est aussitôt frappé de la justesse des observations, on découvre dans ces deux traités un sens qui échappe nécessairement quand on veut les considérer comme nos traités ordinaires de sémiologie ou de thérapeutique, et même on peut surprendre la main des interpolateurs qui glissent çà et là, surtout dans le *Pronostic*, quelques morceaux disparates pour *compléter* ces traités, exactement comme un maçon qui s'aviserait d'ajuster quelques pans de murs à l'œuvre achevée mais incomprise d'un habile architecte. A vrai dire, il n'y a point de traités généraux dans les écrits qui appartiennent à l'école de Cos; ce sont des cliniques ou des monographies, et c'est là précisément ce qui en fait la valeur et ce qui nous les rend si précieux.

Pour acquérir une intelligence plus complète encore de cette pathologie générale, il faut se rappeler que la sémiologie hippocratique n'a pas pour objet le diagnostic local, mais la connaissance de la marche de la maladie ou *prognose*, et que conséquemment la thérapeutique s'applique surtout à diriger les mouvements de la nature ou à favoriser les crises, au lieu de suivre et de combattre le mal pied à pied. On considère l'organisme et non les organes, la maladie et non les maladies.

Dans son édition d'Hippocrate, M. Littré a ouvert des horizons nouveaux pour l'historien de la médecine, et il l'a mis en possession d'une méthode qui seule est capable de donner à l'histoire ce degré d'utilité pratique qu'on recherche au-

Digitized by Google

jourd'hui avant toutes les autres utilités, même avant le plaisir désintéressé de l'étude. M. Littré a montré qu'on ne saurait ni comprendre les ouvrages des anciens, ni en tirer profit (et j'entends par anciens non pas seulement Hippocrate, mais nos aïeux, d'il y a cent ans), si l'on ne s'attache pas à contrôler leurs observations et leurs doctrines par le rapprochement des observations et des doctrines modernes ; or, ce moyen de contrôle manquait jusqu'à une époque très-rapprochée de la nôtre, puisqu'on était asservi aux anciens et qu'on ne pensait ni ne voyait par soi-même. Je n'ai jamais manqué une occasion d'établir ce parallèle depuis le moment où il a été possible d'en recueillir les éléments dans la série des auteurs que nous avons étudiés ensemble. C'est ainsi que nous avons pu, pour choisir les exemples les plus saillants, rapprocher Hippocrate des praticiens français, anglais ou allemands, pour la fièvre pseudo-continue et pour les affections du foie ; — de M. Louis pour la phthisie aiguë ; — de M. Grisolle pour la pneumonie ; — de M. Gosselin pour une épidémie d'érysipèle gangréneux ; — de nos plus illustres chirurgiens du XVIIIe et du XIXe siècle, de France ou d'Angleterre, pour les fractures, les luxations ou les maladies organiques des os ; — de MM. Mélier, Trousseau, Voisin, Huguier, pour les inflammations périutérines et pour le cathétérisme utérin ; — de M. Gubler et d'autres observateurs modernes, pour les paralysies consécutives aux affections aiguës. Vous avez pris un grand intérêt à ces rapprochements toujours instructifs et souvent inattendus ; plus d'une fois nous avons pris plaisir, soit à un heureux diagnostic médical ou chirurgical (1), soit à une multitude d'observations si exactes et si délicates, que nous n'en avons retrouvé la vérification que dans nos auteurs les plus récents. Cela a été pour nous l'occasion de marquer la supériorité des médecins de Cos sur les médecins de Cnide ; et la raison de cette supériorité, c'est que les premiers se défendent mieux que les seconds contre la séduction des théories et des hypothèses ; ils usent avec plus de discrétion de la mauvaise physiologie traditionnelle qu'il était plus aisé d'oublier par instant que de réformer, puisque rien n'était préparé ni dans les méthodes générales d'investigation ni dans les résultats acquis pour une pareille réforme ; or, il n'y a pas de génie humain, si puissant qu'il soit, qui puisse faire quelque chose avec rien ; il n'y a pas un fait de l'histoire qui ne tienne à la fois au passé et à l'avenir ; il faut que le temps et les générations successives préparent les voies ; et ce qui doit particulièrement nous étonner et commander notre respect, c'est qu'avec si peu ou de si mauvais instruments, les auteurs de la Collection hippocratique aient fait de si grandes œuvres.

Ce n'est pas sans regret ni sans le désir d'y revenir souvent que nous avons abandonné Cos et Cnide pour suivre la fortune de la médecine qui émigre de Grèce en Égypte. Le spectacle change brusquement sans qu'on puisse cependant constater d'autres éléments de progrès, si ce n'est le développement régulier de la science qui trouve un milieu plus propice et des excitations plus puissantes dans le Musée et dans la protection des souverains. Il n'y a rien que de grec et absolument rien d'égyptien dans les accroissements que la médecine prend à Alexandrie ; de même, un peu plus tard, la fille d'Esculape ne revêt pas la toge quand elle semble abandonner son berceau pour arriver, à la suite des vainqueurs, sur le sol de l'Italie qu'elle ne doit plus quitter, tandis que la Grèce et l'Orient attendront de longs jours et de nombreuses révolutions pour voir refleurir l'antique médecine.

Jusqu'ici c'est par hasard, par occasion ou par nécessité qu'on a fait de l'anatomie ; mais, d'une part, l'impulsion donnée par Aristote, d'autre part, la curiosité scientifique des rois d'Égypte, enfin le mouvement naturel de l'esprit humain, changent le cours des choses. On étudie l'anatomie pour elle-même ; on *dissèque*, on compare l'homme et les animaux, et l'on cherche à se rendre compte de l'ensemble et des détails de l'organisme vivant ; dès lors le diagnostic local se perfectionne et la chirurgie, surtout, prend de rapides accroissements ; de son côté, la physiologie suit le mouvement ; on commence à faire des expériences ; mais ici encore les anciennes hypothèses biologiques aveuglent les plus habiles ; les erreurs relatives à la respiration et à la circulation se perpétuent malgré toutes les découvertes anatomiques qui devaient les ébranler et peut-être les détruire ; la raison en est simple : ces erreurs, qui ont leurs racines jusque dans Homère, tenaient à toute une théorie *à priori* sur la distribution de l'air dans le corps ; sans aucune notion chimique, il était impossible de comprendre l'action vivifiante de ce fluide autrement que par un contact immédiat et universel. Quand l'anatomie eut ruiné sans retour les hypothèses d'Empédocle, de Diogène ou de Démocrite, la physiologie n'eut pas d'autre ressource que de prendre les artères pour leur faire jouer le rôle des canaux imaginaires des philosophes, et pour les mettre directement en rapport avec les bronches, sans oublier cependant d'attribuer une certaine part de respiration à la peau. Avec l'air dans les artères et le sang dans les veines, il n'y a pas place pour l'idée de circulation.

Le recherches entreprises sur des points encore inexplorés, et dirigées par l'esprit d'observation, conduisent, au contraire, à des résultats que la science actuelle a confirmés en grande partie ; par exemple, le cœur se trouve dépossédé de ses fonctions sensorielles en faveur du cerveau ; on entrevoit les relations de l'encéphale et de la moelle, on tient ces deux organes pour les centres du mouvement et des sensations, on reconnaît même deux ordres de nerfs, bien qu'il existe encore anatomiquement une très-regrettable confusion entre les nerfs et toutes les formes du tissu fibreux ; la pathologie du cerveau se dessine, mais celle du cœur reste longtemps à l'état rudimentaire ; car pour cette portion de la pathologie, on ne peut rien ou presque rien sans l'intervention des moyens physiques de diagnostic.

Mais si le diagnostic anatomique de certaines maladies a fait de notables conquêtes, l'étude des états organo-pathologiques a entraîné vers une fausse route les médecins d'Alexandrie dans l'importante question des fièvres ; ils ont perdu de vue cette grande unité morbide qui se traduit par la rémittence ; ils n'ont plus la notion de la fièvre pseudo-continue qui se fractionne alors en *phrenitis*, *lethargus* et *fièvre ardente* ; en d'autres termes, les formes particulières de la fièvre rémittente, si bien reconnues par Hippocrate, deviennent des maladies spéciales ; on ne comprend plus Hippocrate, soit qu'on ait changé de point de vue, soit qu'on n'exerce plus dans le même milieu que lui.

(1) Par exemple, un auteur hippocratique diagnostique une plaie du diaphragme, parce que le malade est pris d'un rire sardonique ; un autre reconnaît la carie des vertèbres à la nature du pus qui s'échappe et à la direction du trajet fistuleux suivi avec une sonde.

Digitized by Google

Un autre fait nous aide encore à comprendre cette transformation de la médecine : c'est la prépondérance que l'école de Cnide paraît avoir prise à Alexandrie sur l'école de Cos ; la méthode de Cnide est plus accessible, et pour ainsi dire, plus vulgaire que celle de Cos; les particularités sont plus aisées à saisir que les généralités, lors même que ces généralités, et c'est le cas pour les hippocratistes, proviennent moins d'une idée systématique que de la préoccupation d'un ensemble de faits bien définis; elles sont plus dans la pratique ordinaire de la vie et plus dans les habitudes de l'esprit. Il est vrai que si Érasistrate appartenait à Cnide par son maître Chrysippe, Hérophile rappelait Cos par son maître Praxagore; mais Hérophile est plus connu comme anatomiste et Érasistrate plus célèbre comme médecin; la secte d'Érasistrate est aussi plus ferme en ses principes que celle d'Hérophile; nous en avons la preuve même au temps de Galien; l'influence d'Érasistrate se fait donc sentir à longue distance; on peut même avancer que ces doctrines sont une préparation à celles d'Asclépiade et du Méthodisme. De plus, on voit par les titres et par quelques fragments de certains ouvrages de Praxagore que, très-peu de temps après Hippocrate, les médecins de Cos négligeaient déjà l'étude de l'état général pour multiplier le nombre des maladies, et parfois même pour transformer les symptômes en véritables espèces morbides. C'est probablement à cette tendance de plus en plus prononcée, et aussi à l'abus que les dogmatiques faisaient du raisonnement, enfin au développement qu'avait pris la pharmacologie, qu'est due la naissance de l'Empirisme. Or, l'Empirisme est, entre les mains des médecins, comme entre celles du vulgaire, la négation de toute pathologie et de toute thérapeutique générales. Il y a plus que des maladies isolées et des médicaments spécifiques avec des étiquettes correspondantes. Le cadre nosologique et les formulaires sont également sans limites, puisqu'il n'existe plus ni unité morbide ni indications rationnelles.

Heureusement l'empirisme n'a pas eu une meilleure fortune dans l'antiquité que de nos jours, et le dogmatisme même le plus outré, comme était celui de Galien, ou plus restreint comme était celui des méthodiques, a sauvé la médecine dans les siècles de bouleversement social en rattachant toutes les parties de cette science par un lien solide quoique artificiel.

C'est encore aux diverses influences que je viens de signaler, et peut-être aussi à la condition antérieure des médecins égyptiens qu'il faut attribuer l'origine des nombreuses spécialités qui s'établirent à Alexandrie; ce qui n'a pas empêché que l'art de guérir ait été étudié et pratiqué dans toutes les parties par la majorité des médecins; en effet, c'est bien à tort, comme je l'ai établi devant vous, que l'on a voulu trouver, dans un passage de Celse, le partage matériel et systématique de la médecine entre trois ordres de praticiens, dont les uns traitaient par les médicaments, les autres par le régime et les derniers par les opérations.

Je ne voudrais pas trop médire des spécialistes ni les comparer aux empiriques; mais je crois qu'ils amoindrissent et épuisent plutôt qu'ils n'étendent et fertilisent le champ de la médecine.

Déjà l'éclat que la médecine avait jeté à Alexandrie commençait à pâlir, quand s'ouvrirent pour elle les portes de Rome; là elle prit un nouvel essor, comme il arrive à un arbre qu'on arrache d'un sol fatigué pour le transplanter sur une terre encore vierge. Une circonstance particulière contribua, du reste, dans cette seconde migration de la médecine, à lui donner une vigoureuse impulsion : je veux parler de la naissance du Méthodisme qui suscita des luttes violentes et tint les esprits en éveil. J'ai beaucoup insisté sur le caractère et sur l'histoire de cette secte, non que je la croie relativement préférable à celle d'Hippocrate et de Galien, mais pour plusieurs autres raisons que je crois devoir rappeler : les origines du méthodisme sont mal connues; — on n'a jamais donné une exposition complète et raisonnée de la doctrine; — non-seulement le temps a épargné quelques-uns des ouvrages rédigés par le plus savant et le plus sensé des médecins méthodiques, Soranus, mais les manuscrits grecs ou latins nous ont conservé de précieux débris anonymes de la littérature méthodique; — dans les ouvrages de Soranus, nous rencontrons des renseignements historiques de grande valeur et des esquisses de maladies d'une vérité saisissante; — la traduction par Cælius Aurelianus, du *Traité des maladies aiguës et des maladies chroniques*, corrigée, restaurée, confrontée avec tout ce qui reste du Méthodisme, s'est, j'ose le dire, transformée; — grâce à des recherches d'un ordre différent, le *Traité des maladies des femmes* a repris, en grande partie, sa physionomie primitive, qu'il avait perdue sous la main des copistes et des compilateurs : — un opuscule nouveau est venu grossir encore le bagage littéraire du même Soranus; — enfin ce sont les écrits des méthodiques qui ont le plus servi, avec quelques traités d'Hippocrate et de Galien, par l'intermédiaire des traductions latines, à l'éducation médicale de la première période du moyen âge, de sorte que l'influence du méthodisme s'exerce beaucoup plus longtemps que ne le soupçonnent les historiens de la médecine. J'ai mis sous vos yeux les preuves de toutes ces assertions et vous avez pu juger par vous-mêmes si mes découvertes à cet égard sont des illusions de mon esprit ou des témoignages authentiques fournis par les textes imprimés et manuscrits.

En étudiant les divers systèmes que nous avons vu produire, soit à Alexandrie, soit à Rome, j'ai eu soin de vous prémunir contre les assimilations rigoureuses que les historiens ont voulu établir entre les systèmes anciens et les systèmes modernes. Sans doute on peut trouver certaines analogies apparentes entre les théories d'Érasistrate, ou d'Asclépiade, ou de Thémisson, et celles de Boerhaave, de Brown ou de Broussais; mais comme ni l'anatomie ni surtout la physiologie ne sont plus les mêmes, les détails sont fort dissemblables, et l'idée première repose sur des conceptions toutes différentes; autant vaudrait comparer la *pneumatose* de quelques médecins du XVIIIe siècle avec le *pneumatisme* d'Athénée, que de rapprocher l'*erreur de lieu* d'Érasistrate ou l'*enclavement* d'Asclépiade et l'*irritation* de Broussais. La médecine tourne dans le même cercle, en ce sens qu'elle cherche à expliquer les maladies tantôt par les liquides, tantôt par les solides et tantôt par les esprits; mais à cela se bornent les ressemblances des systèmes, tout le reste diffère d'une époque à l'autre.

Les plus grands noms de la médecine, après ceux d'Hippocrate, d'Hérophile et d'Érasistrate, se trouvent à Rome : Asclépiade, Thémison, Celse, Soranus (?), Athénée, le chef des Pneumatistes; Archigène, Rufus (1), Galien, Oribase,

(1) Mes recherches dans les bibliothèques m'ont permis, soit d'améliorer les traités déjà connus de Rufus, soit d'en augmenter le nombre. —

Digitized by Google

peut-être avant lui Antyllus; j'y voudrais joindre encore celui d'Arétée, mais il y a trop d'incertitudes sur la vie de ce médecin. C'est aussi à Rome qu'a pris naissance le méthodisme, c'est-à-dire la doctrine la plus puissante après le dogmatisme et qui a tenu en échec la renommée d'Hippocrate et plus tard celle de Galien; c'est à Rome enfin, que la médecine ancienne arrive à son plus haut degré de perfection; jusqu'aux premiers réformateurs elle ne gagne presque plus rien, et j'ose dire, en même temps, qu'elle ne fait pas non plus de très-grandes pertes; tant la tradition s'est religieusement conservée au milieu des temps qui passent pour les plus barbares.

Dans l'histoire de la médecine à Rome on a beaucoup vanté Celse pour des mérites qu'il n'a pas, et l'on n'a pas reconnu ceux qui rendent l'étude de son traité si curieuse pour nous. Je ne partage ni l'avis de ceux qui soutiennent que Celse était un médecin dans la véritable acception du mot, ni celui des personnes qui lui refusent absolument le titre de médecin. J'adopte une opinion intermédiaire et que je crois la seule admissible (1). — Celse était un de ces *philiatres* dont Galien fait mention, et qui, soit à Alexandrie, soit à Rome, soit même plus tard en Italie ou dans les Gaules, avaient étudié la médecine plus dans les livres qu'auprès des malades, mais avec assez de soin pour en parler pertinemment et pour traiter eux, leur famille et leurs amis, asolument comme le faisait le vieux Caton, à la différence près d'une instruction plus solide et d'un esprit moins porté vers la superstition. Le *Traité de médecine* n'est pas l'œuvre d'un praticien fort occupé ni d'un simple amateur; l'inexpérience se trahit surtout dans les chapitres consacrés à la chirurgie; on entrevoit que Celse n'est pas un opérateur consommé et qu'il n'a pas toujours bien compris ce qu'il traduit; dans les livres qui regardent la médecine, l'auteur ne donne guère son avis sur des questions compliquées; il expose bien plus qu'il ne décide (2); c'est à propos de l'hygiène qu'il parle avec le plus d'autorité.

J'ai de plus montré, soit par la confrontation des textes, toutes les fois qu'elle a été possible, soit par une induction légitime quand manquaient les passages parallèles, que le *Traité de médecine* n'a presque rien d'original et que c'est à peu près, d'un bout à l'autre, une traduction libre du grec. Donc ce qui recommande surtout cet ouvrage c'est qu'il est un résumé très-bien fait et très-bien écrit de la médecine hippocratique et de la médecine d'Alexandrie.

Celse semble avoir un faible pour l'empirisme; cependant ses sources principales sont les auteurs orthodoxes.

Celse a été peu lu et peu cité jusqu'au xve siècle; ce n'est pas lui, mais Cœlius Aurelianus, c'est-à-dire le traducteur de Soranus, que Cassiodore recommande à ceux qui veulent s'instruire dans la médecine (1). Cependant Celse n'a pas été aussi oublié qu'on le croit généralement. J'ai retrouvé d'assez longs extraits de son ouvrage dans les plus anciens manuscrits de la première période du moyen âge. Si les Grecs n'ont fait presque aucune mention de Celse, c'est, non par mépris pour les Latins, qu'ils citent assez volontiers, mais probablement parce qu'ils n'ont jamais pris l'encyclopédiste romain au sérieux et qu'ils possédaient les originaux où lui-même avait puisé.

L'œuvre de Galien est le point culminant de la médecine grecque. Avant Galien tout monte et tout converge vers un état qu'on pourrait croire définitif; après lui, tout commence à descendre et tout semble un moment se dissocier pour une ruine inévitable. Je ne saurais ni mieux résumer toute ma pensée sur Galien, ni le présenter sous un jour plus vrai qu'en disant de ce grand médecin qu'il est à la fois le représentant du dogmatisme le plus exagéré et le chef de l'école expérimentale la plus avancée. — Ses raisonnements sont aussi déraisonnables que ses observations sont précises et sûres quand il veut bien regarder la nature au lieu de faire des actes de foi envers Hippocrate ou Aristote. Ainsi, messieurs, s'il nous a fallu sacrifier sans miséricorde une bonne partie de la physiologie et presque toute la pathologie et la thérapeutique générales de Galien; si les excès de son imagination ou les éclats de sa vanité ont parfois attiré le sourire sur nos lèvres, nous avons, en mille occasions, admiré ses belles descriptions anatomiques, ses vues si élevées et si justes sur le diagnostic local, sa perspicacité dans le traitement des maladies qu'il avait nettement déterminées.

Les œuvres de Galien démontreraient à elles seules combien sont tantôt bienfaisantes, tantôt funestes, mais toujours impérieuses, les influences de la physiologie sur la pathologie, puisque tout ce qu'il y a de bon et tout ce qu'il y a de mauvais dans ces volumineux écrits provient de la bonne ou de la mauvaise physiologie; Galien aurait pu, en certaines circonstances, mieux user des instruments qu'il avait entre les mains et montrer un esprit plus indépendant; toutefois, si nous voulons apprécier ses doctrines et mesurer ses efforts avec équité, n'oublions pas qu'il était difficile, pour ne pas dire impossible, d'aller beaucoup plus loin que lui dans le milieu scientifique où il se trouvait.

Galien avait tout ce que fait l'homme supérieur, mais rien de ce qui constitue l'homme de génie; et le ciel lui eût-il donné en partage cette flamme divine qui animait Hippocrate ou Platon, il n'eût sans doute découvert ni la circulation du sang, ni la théorie de la respiration, ni l'anatomie générale; au second siècle après Jésus-Christ, il ne pouvait être ni Harvey, ni Lavoisier, ni Bichat; le temps n'était pas venu; la préparation n'était pas suffisante. Mais quelle qu'ait été la trempe de son esprit, Galien tient en sa main puissante tout le passé et tout l'avenir de la médecine; il rattache et resserre tous les fils de la tradition, et le faisceau est si bien lié que rien ne peut le briser, ni les révolutions sociales, ni les bouleversements des empires, ni l'ignorance des peuples nouveaux ou l'épuisement des peuples anciens.

Après Galien, la période active, la période créatrice de la mé-

---

Soranus, Rufus, Galien, et avant eux quelques médecins alexandrins, sont les auteurs anciens pour lesquels les manuscrits m'ont fourni le plus de textes inconnus ou négligés.

(1) L'opinion que M. des Étangs a soutenue dans l'introduction qu'il a mise en tête de son excellente traduction de Celse me paraît être celle qui se rapproche le plus de la mienne; il admet, en effet que Celse n'est pas seulement un compilateur, il le surprend même (pour me servir de son expression) en flagrant délit de pratique; mais en même temps il est porté à croire que notre auteur n'a pas exercé la médecine, en vue du profit qu'on en retire.

(2) Voyez-en les preuves dans Kissel, *Cornelius Celsus*. Giessen, 1844, p. 124-125.

(1) Cette assertion est fondée pour moi sur plusieurs raisons et en particulier sur l'examen que j'ai fait à Bamberg du manuscrit prototype des *Institutions* de Cassiodore.

Digitized by Google

decine touche à sa fin; encore quelques efforts isolés (1), et la période conservatrice commence.—Mais nulle part les études ne sont interrompues complétement; les routes qui nous conduisent de l'ancien monde au nouveau sont difficiles à suivre et toutes semées de ruines; ces ruines, du moins, ne sont ni si complètes ni si profondément enfoncées dans le sol qu'on ne puisse les reconnaître comme les restes encore imposants des plus beaux monuments qu'ait jamais produits la médecine.

Entre l'époque où Galien achevait sa brillante carrière et celle où s'évanouissent les dernières traces de la médecine active, c'est-à-dire vers le milieu du ve siècle, il reste trois centres d'instruction médicale : Rome, Alexandrie, Athènes. — Rome, parce que les maîtres du monde y dominaient encore et que chacun y venait chercher fortune; — Alexandrie et Athènes, en souvenir de leur antique splendeur; Alexandrie surtout, car, suivant Ammien Marcellin, cette ville était si renommée pour ses écoles médicales, que venir d'Alexandrie tenait presque lieu de savoir et d'expérience. Plus tard, quand l'empire se partage entre Rome et Byzance, les médecins, les savants, les hommes de lettres, retournent en grand nombre à la mère-patrie et semblent chercher sous la protection des nouveaux Césars un refuge contre les calamités qui assiégent la vieille capitale. De divers points de l'Asie Mineure on voit surgir aussi quelques médecins, mais leur renommée est à peine arrivée jusqu'à nous.

Trois influences se partagent inégalement la médecine grecque après la mort de Galien jusqu'à la chute de l'empire romain :

L'influence classique, représentée, soit par Galien lui-même, soit par les auteurs hétérodoxes;

L'influence du néo-platonisme, qui se fait surtout sentir à Alexandrie;

Enfin, quoique encore très-limitée, l'influence du christianisme, qui commence à avoir pleine conscience de lui-même. On sait que la résistance des savants au christianisme fut la plus longue et la plus vigoureuse; elle fut, du reste, entretenue par quelques empereurs philosophes et libres penseurs, pour qui le culte des anciens dieux n'était guère qu'un rationalisme mal déguisé. Aussi, la médecine grecque comme la médecine latine ont-elles conservé longtemps, plus longtemps même qu'on n'est en droit de le supposer, la livrée du paganisme (2). L'Église a rendu de très-grands services à la médecine, par la protection qu'elle accordait aux études; mais en même temps elle a retardé les progrès de notre science en consacrant les erreurs de la physiologie pour les faire servir à la démonstration des thèses de la théologie. Dans l'antiquité, la médecine scientifique est indépendante des idées religieuses, tandis que de très-bonne heure la théologie chrétienne, en montant sur le trône, a pris des habitudes de commandement et a prétendu régenter même la médecine, si bien que de nos jours encore les doctrines médicales passent auprès de beaucoup de médecins pour inséparables des dogmes de la religion.

De Galien à Oribase, qui est le point intermédiaire entre la médecine active et la médecine conservatrice, nous avons conduit notre histoire par deux lignes parallèles :

1° *La médecine à Rome*, où les Grecs conservent encore la prééminence, mais où les Latins cependant continuent à s'essayer, et pour ainsi dire à se mettre en mesure de recevoir et de transmettre l'héritage des Grecs;

2° *La médecine à Alexandrie*, en Asie Mineure et dans la Grèce proprement dite; mais là nous n'avons rencontré que des renseignements épars et tout à fait insuffisants.

Peu après Oribase, qui est le premier connu et le plus important des compilateurs, l'activité médicale passe sans interruption et assez brusquement des mains des Grecs à celle des Néo-Latins.

En Orient, grâce, je ne dirai pas à l'influence, mais à la seule présence des empereurs à Byzance après Constantin, la médecine grecque semble vouloir faire quelques tentatives de résurrection; mais, bientôt envahie par la sophistique grecque et par la scolastique chrétienne, elle finit par de misérables compilations ou de maigres abrégés. Parfois même il arrive (métamorphoses singulières!) que des ouvrages empruntés aux Grecs par les Arabes sont de nouveau traduits de l'arabe en grec.

A considérer les choses superficiellement, on pourrait croire que tout se passait en Occident comme en Orient, car chez les Latins et chez les Barbares qui se sont convertis du même coup au christianisme et à la civilisation, nous avons trouvé, comme chez les Byzantins, des compilations, des sommes, des abrégés, des recueils de formules, et de plus des traductions en grand nombre, de sorte que les procédés d'instruction et les moyens d'études sont à peu près les mêmes des deux côtés; — mais en Occident il y a plus de puissance de travail, un ensemble d'efforts plus considérables, une conservation plus originale, une préparation plus efficace, plus soutenue, à la rénovation des sciences. En Orient, le cône va en s'effilant; en Occident, le cône va en s'élargissant. En Orient, il n'y a plus que des tentatives isolées, il n'existe point d'écoles sérieuses; — en Occident, de tous côtés on voit se former des centres d'instruction et surgir des écoles fameuses qui entretiennent le feu sacré. En Orient, les invasions brisent tous les ressorts; en Occident, elles les retrempent.

Pendant que la vieille gloire médicale de la Grèce s'éteignait à son foyer même, et que d'un autre côté l'Occident, plus jaloux d'un héritage aussi précieux, travaillait de son mieux à le défendre contre toutes les causes de destruction, un autre foyer s'allumait dans l'antique Orient, soit par l'influence du christianisme ou des sectes hétérodoxes, soit par la propagation des doctrines de l'école d'Alexandrie; les écrits des Grecs sont lus, traduits, commentés, et arrivent, sous cette nouvelle forme, entre les mains des Arabes qui devaient plus tard ramener la grande médecine grecque en Occident.

C'est une loi invariable de l'histoire, qu'il n'y a jamais d'interruption dans la marche de l'esprit humain, quelque cachés, obscurs et lents que soient ses mouvements; rien n'est plus contraire à la vérité et à la logique que de supposer, comme le font la plupart des historiens, qu'entre la disparition apparente de la médecine grecque et la rénovation partielle des sciences par l'invasion pacifique des Arabes, il y a un immense désert à traverser, où l'on ne rencontre pour toute oasis que superstition et ignorance. Si les Grecs renaissaient hier à la civilisation, c'est qu'ils en avaient conservé quelques germes; et si vers le xie siècle la médecine arabe n'eût pas trouvé le terrain préparé par la médecine néo-

(1) C'est alors que nous rencontrons parmi les auteurs originaux les noms d'Arétée, d'Antyllus, de Posidonius, de Philagrius.

(2) Entre autres preuves, je rappellerai les prières ou incantations toutes païennes qu'on lit dans plusieurs manuscrits de médecine des ixe et xe siècles.

Digitized by Google

latine, elle n'eût pas jeté des racines plus profondes en Occident que le grain de senevé de l'Évangile qui tombe sur le roc.

Tel est, messieurs, le résumé de nos précédents entretiens, voici maintenant en très-peu de mots le programme de ceux que je me propose d'avoir avec vous cette année.

Nous avons suivi les migrations de la médecine grecque à Alexandrie et à Rome; nous l'avons vue passer ensuite à peu près en même temps en Occident, dans les mains des Barbares, en Orient, dans celles des Syriens, des Juifs, des Arabes et, plus tardivement, des Perses; chemin faisant, nous avons constaté que ces divers déplacements géographiques n'avaient en rien altéré son caractère primitif; maintenant nous allons le voir se répandre en conservant sa même physionomie chez les peuples nouveaux qui couvrent l'Italie, la Gaule, l'Espagne, l'Angleterre, ou qui sont restés de l'autre côté du Rhin; nous la retrouvons jusque sur le sol de l'Afrique, où elle est arrivée à la fois par Alexandrie et par Rome.

Dès lors l'enseignement, et même la pratique de la médecine, se trouvent partagés, mais inégalement, entre les clercs et les laïques; nous devons écouter avec la même attention les voix qui partent des cloîtres ou des cathédrales, et la parole qui retentit dans les chaires où naguère professaient les maîtres les plus habiles des écoles romaines; c'est encore à cette époque que commencent à se fonder des institutions publiques qui prendront plus tard le nom d'*Universités*. Nous avons, pour cette obscure période de l'histoire, puisé nos renseignements dans les chroniques, dans les vies de saints, dans les recueils de miracles, dans les docteurs de l'Église, dans les glossateurs même, avec le même soin et avec non moins de profit que dans les vieux manuscrits de médecine.

Cependant un nom domine durant plusieurs siècles, c'est celui de Salerne; nous pourrons constater que les origines de cette école fameuse se perdent dans les ombres de la première période du moyen âge, et qu'elles ne datent pas seulement de la fin du xe siècle ou du commencement du xie; nous réformerons presque toute l'histoire de cette école, en étudiant ensemble de nombreux monuments ou négligés jusqu'ici ou tout à fait inconnus, et publiés par MM. Henschel de Renzi et par moi.

Les premières traductions latines des auteurs médicaux arabes paraissent avoir été faites par Constantin l'Africain, ou du moins sous sa direction, et c'est de Salerne qu'il semble qu'elles ont commencé à se répandre dans le reste de l'Occident. Après vous avoir fait connaître les principaux auteurs arabes et constaté ce qu'ils apportent de nouveau pour la constitution de la science, nous aurons surtout à rechercher si leur domination a été aussi générale et aussi exclusive que le prétendent les historiens. C'est alors que nous rencontrerons les *Universités*, et qu'au milieu des combats acharnés qu'on s'y livre, nous pourrons reconnaître les symptômes d'une véritable Renaissance qui profite surtout à l'anatomie, et par conséquent à la chirurgie, tandis que jusqu'aux grands réformateurs du xvie siècle la physiologie, et par conséquent la médecine, restent à peu près stationnaires. La suite de ces leçons vous le prouvera.

C'est dans les traités de médecine que nous trouvons les théories pathologiques et les descriptions systématiques des maladies, mais c'est aux ouvrages non médicaux que nous nous adresserons pour y puiser les éléments d'une histoire de la clinique médicale et chirurgicale, c'est là aussi que nous rencontrerons les renseignements les plus exacts sur l'organisation de l'enseignement et de la pratique de notre art, sur les rapports des médecins avec le pouvoir ecclésiastique ou le pouvoir civil, sur les institutions de charité, les règlements d'hygiène en temps ordinaire, ou en temps d'épidémie, enfin sur l'exercice de la médecine dans les grandes expéditions militaires.

Dans la première et dans la seconde antiquité, nos recherches se rapportaient à des circonscriptions géographiques relativement très-limitées, mais déjà au moyen âge les États se multiplient, et avec eux les centres d'activité médicale. Si la doctrine et la pratique ne différaient pas sensiblement d'un pays à un autre, il y a du moins toutes sortes de nuances à signaler et un nombre infini de documents à consulter; de sorte que le tableau de l'histoire est plus chargé, et le classement des matériaux plus difficile. Nous tâcherons de ne jamais confondre ce qui appartient à l'exposition générale et ce qui rentre dans les cas particuliers.

Vous savez, messieurs, quels principes m'ont guidé d'un bout à l'autre de cet enseignement; ils se résument en quelques phrases: chercher la philosophie de l'histoire dans l'étude attentive et scrupuleuse des circonstances de toute nature qui favorisent ou entravent le développement de la science; montrer comment et dans quelle mesure les diverses branches qui constituent la médecine influent les unes sur les autres pour mener à la vraie notion de la pathologie et de la thérapeutique; par conséquent faire servir la connaissance du passé à l'instruction des générations présentes; car l'utilité pratique de l'histoire se tire à la fois des faits de détail qu'elle nous fournit en abondance et des idées générales qu'elle met en lumière et qui nous révèlent les conditions essentielles du progrès. Voilà, messieurs, le seul terrain solide où doive et où puisse se placer l'historien s'il veut remplir consciencieusement et fructueusement sa mission; ce terrain-là je ne l'abandonnerai jamais, parce que tous les jours il s'affermit de plus en plus sous mes pieds. J'appartiens à l'école positive (1), et non pas à l'école mystique.

Je sais bien qu'il est plus aisé de se livrer aux aventures, de se confier à l'imagination ou d'adopter des thèses toutes faites que de chercher l'histoire dans les textes authentiques et de ne jamais accepter, sans un examen sérieux, les assertions émises par les autres historiens; mais c'est un rôle qu'il n'est pas permis de garder au xixe siècle.

Plus que personne je rends justice aux travaux antérieurs; personne non plus n'apprécie mieux que moi les difficultés du sujet, mais c'est le sentiment de ces difficultés mêmes qui me laisse toujours dans un profond étonnement quand je vois aborder sans préparation suffisante, et sans savoir ni d'où l'on vient ni où l'on va, des questions aussi ardues qu'elles sont neuves. Il me semble que j'entends encore Euthydème s'écriant dans les *Mémoires de Socrate* : « Athéniens, je n'ai jamais rien appris de personne, j'ai toujours évité avec le plus grand soin, non-seulement de recevoir des leçons, mais

(1) Je me suis suffisamment expliqué ailleurs sur le sens que j'attache à ce mot, pour qu'il n'y ait à cet égard aucune équivoque. Si j'appartenais à l'*école positiviste* au lieu d'appartenir simplement à l'*école positive*, je le dirais sans détour et je ne laisserais à personne le soin d'interpréter ma pensée; mais je ne veux pas non plus qu'on la dénature.

Digitized by Google

même de paraître en avoir reçu ; néanmoins, je vais vous dire ce qui me vient à l'esprit. »

On raconte que César, quand il se sentit frappé à mort, s'enveloppa de son manteau pour tomber avec décence et dignité, eh bien je voudrais aussi, quand on aborde des problèmes difficiles et graves, qu'on prît toutes ses précautions pour se tromper décemment et honnêtement, si l'on se trompe.

L'histoire de la médecine n'est guère plus avancée aujourd'hui que ne l'étaient l'histoire politique ou l'histoire littéraire au commencement de ce siècle. Nous avons eu notre Rollin dans Daniel le Clerc, mais nous attendons encore notre Niehbuhr. Il n'y a qu'un homme qui pouvait remplir ce rôle : c'est M. Littré ; malheureusement d'autres grands travaux l'ont, momentanément du moins, détourné de cette voie.

Ici, messieurs, je m'arrête un moment pour vous conjurer de ne pas donner à mes paroles une autre interprétation que celle que je leur donne moi-même dans ma pensée. Je n'ai pas d'autre dessein que de vous exciter tous et de m'exciter moi-même à sortir résolûment des vieilles ornières, et à porter dans l'étude de notre histoire la critique, et, s'il se peut, l'érudition qui ont depuis cinquante ans éclairé d'une si vive lumière l'histoire politique et l'histoire des lettres. La tâche est très-rude, messieurs, mais rien ne me coûtera pour vous la rendre moins pénible ; et à défaut des qualités qui répandent l'agrément sur les questions les plus rebelles, je puis, du moins, vous promettre une application soutenue et un zèle qui ne sera même pas très-méritoire, puisque l'histoire de la médecine est pour moi, depuis plus de vingt ans, l'objet d'un culte à peu près exclusif. En retour, messieurs, je ne vous demande que beaucoup d'indulgence et la continuation de cette affectueuse sympathie qui établit un doux et utile commerce entre le professeur et son auditoire.

CH. DAREMBERG.

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS.

PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE (1).

COURS DE M. CL. BERNARD
(de l'Institut).

Les sécrétions.

Nous avons fini l'étude du sang, il nous reste maintenant à examiner les autres liquides de l'organisme qui servent soit à le former, soit à le purifier. Ces liquides, ce sont surtout les liquides de sécrétions, et nous avons à distinguer dans leur production deux ordres de phénomènes bien différents, des phénomènes mécaniques et des phénomènes chimiques. Tous les phénomènes mécaniques qui se produisent dans le sang ont leur origine dans les contractions du cœur. Quant aux phénomènes chimiques qui se passent dans le même liquide, ils sont en général de l'ordre des combinaisons organiques, ou des combustions lentes, etc.

Il régnait autrefois, à ce sujet, dans les sciences biologiques, des idées en rapport avec les théories vitalistes d'alors, et qui sont aujourd'hui à peu près abandonnées ; d'après cette manière de voir, les phénomènes physico-chimiques se produisaient sans doute dans l'organisme, mais ils étaient considérés comme les antagonistes des phénomènes vitaux, et leur triomphe sur ces derniers caractérisait la mort. Stahl a particulièrement développé ces idées avec une grande autorité, parce qu'il était à la fois un grand médecin et un grand chimiste, et, au commencement de ce siècle, Bichat professait encore les mêmes opinions, puisqu'il définissait la vie l'ensemble des fonctions qui résistent à la mort.

La plupart des phénomènes physico-chimiques dont on reconnaît maintenant la production normale dans les êtres vivants n'étaient pas encore découverts à cette époque, et ils tiennent en grande partie à des substances non-seulement organiques, mais encore organisées. Ainsi les fermentations, dont le rôle physiologique est sans doute si considérable, sont des phénomènes produits par la nutrition de différents êtres microscopiques. Si Stahl ou Bichat vivaient encore aujourd'hui, ils ne manqueraient pas de revendiquer pour la physiologie tous les phénomènes de ce genre, parce qu'ils se produisent à l'aide de matières organisées, douées de la faculté de se reproduire.

De nos jours, la chimie a envahi le domaine de la physiologie, et elle l'envahira de plus en plus. Cela tient aux difficultés insurmontables que présente la délimitation rigoureuse des diverses sciences, et en particulier des sciences physiologiques, parce qu'elles sont les plus complexes de toutes. La physiologie, en effet, doit comprendre tous les phénomènes qui se passent dans l'organisme vivant, et, d'un autre côté, la chimie a pour objet l'étude des combinaisons ou des dissociations des corps, quelque part qu'elles se produisent. Le conflit est donc inévitable aujourd'hui.

Mais à l'époque de Stahl on ne connaissait guère, et l'on ne parlait que des phénomènes chimiques minéraux. Or, il est vrai que la constitution normale du sang et des autres liquides organiques, s'oppose en général à l'accomplissement de ces phénomènes minéraux. Ainsi les phénomènes de double décomposition, qui sont si fréquents dans la nature brute, ne peuvent pas se produire dans le sang.

Prenez, par exemple, un sel de peroxyde de fer, du lactate de fer je suppose, et mêlez-le dans l'eau avec du prussiate de potasse : il y aura aussitôt production de bleu de Prusse par double décomposition, les deux sels échangeant leurs bases. Mais lorsqu'on les injecte en même temps dans le sang, soit au même point, soit en des points différents du système veineux, la réaction ne se produit plus. Ce fait s'explique du reste par les propriétés chimiques du sang, qui est alcalin et contient de l'albumine en quantité assez considérable. Mais il y a dans l'organisme d'autres endroits où la réaction se produit parfaitement, parce que les circonstances qui y mettaient obstacle n'y existent pas. Ainsi, le bleu de Prusse se forme parfaitement bien dans l'estomac et la vessie, et il communique alors à ces organes une teinte bleue assez intense, facile à reconnaître. Les mêmes phénomènes se produisent du reste hors de l'organisme, quand on opère avec les mêmes substances placées dans des verres. Ainsi le bleu de Prusse ne prend point naissance quand le prussiate jaune de potasse et le lactate de fer sont mis en présence dans un verre rempli avec du sérum du sang, tandis qu'il se forme parfaitement dans le suc gastrique ou dans l'urine acide.

Au contraire, toutes les actions chimiques qui se rapprochent plus ou moins des fermentations, s'accomplissent très-bien dans le sang. Lorsqu'on injecte, par exemple, de l'émulsine dans la veine jugulaire, et de l'amygdaline dans la veine

(1) Voyez les numéros 20, 50, 51, 52 de la deuxième année, et les numéros 1 et 2 de la troisième.

Digitized by Google

crurale, le dédoublement qui donne naissance à un dégagement d'acide prussique se produit parfaitement, et l'animal tombe bientôt empoisonné.

Ces considérations nous montrent qu'il y a certains phénomènes chimiques qui s'accomplissent très-bien dans le sang, et d'autres qui ne s'y produisent pas du tout. Nous ne devons pas perdre de vue ces deux espèces de phénomènes chimiques pour l'explication des sécrétions.

Les sécrétions, comme leur sens l'indique (de *secernere*, séparer), sont des fonctions qui ont pour but de séparer du sang certaines substances particulières. Elles s'accomplissent dans des organes spéciaux qu'on appelle les glandes et qui sont formés d'une grande quantité de petits culs-de-sac ou de tuyaux repliés et contournés, dont les parois sont très-minces.

Les globules blancs ou rouges et les divers corpuscules en suspension dans le sang ne peuvent point, à l'état normal, traverser les minces membranes des culs-de-sac glandulaires, et il en est de même de tous les principes organiques du sang ; ainsi l'albumine et la fibrine ne passent point au travers des membranes glandulaires, dans les conditions normales. Mais les principes salins traversent facilement ces membranes par une sorte d'endosmose.

Il y a aussi certains produits organiques, certaines substances spéciales élaborées dans l'organisme, qui s'éliminent dans des sécrétions déterminées ou quelquefois même dans toutes. L'urée, par exemple, s'en va surtout par les urines ; mais lorsque les reins sont enlevés, elle peut aussi passer en quantités fort notables dans les sécrétions intestinales ou dans la sueur. Les sécrétions, prises dans leur ensemble, contiennent donc en définitive tout ce que contient le sang, moins les matières organisées qu'on trouve dans ce liquide, globules rouges, globules blancs, fibrine et albumine.

D'après les considérations précédentes, nous semblerions avoir le droit de dire que les sécrétions contiennent toutes les matières organiques ou inorganiques destinées à sortir du sang, qu'elles ne contiennent que cela, et que notamment on n'y trouve pas de matières albuminoïdes. Mais ce principe, présenté ainsi d'une manière générale, constituerait une erreur.

Certaines sécrétions contiennent en effet des ferments qui sont des matières albuminoïdes d'une nature spéciale ; les sécrétions digestives particulièrement sont dans ce cas. Ces substances fermentescibles ne proviennent point du sang, leur origine est dans les glandes elles-mêmes. Nous devons donc distinguer deux ordres de sécrétions, les unes qu'on appelait autrefois accrémentitielles, et les autres qu'on nommait excrémentitielles.

Les sécrétions accrémentitielles produisent des liquides qui sont destinés à être réabsorbés et à rentrer ainsi dans l'organisme après avoir rempli une fonction déterminée. La plupart des sécrétions intestinales sont dans ce cas. Sans cela, l'extrême abondance de ces sécrétions aurait bientôt épuisé les liquides contenus dans l'organisme. En effet, des expériences récentes ont conduit à évaluer au dixième du poids total du corps la quantité de liquides enlevée au sang par les sécrétions intestinales pendant vingt-quatre heures. Mais ces liquides ne sont perdus qu'en très-petite partie, car la plus grande quantité est réabsorbée par la muqueuse intestinale presque aussitôt après qu'elle a été éliminée par les glandes.

Les sécrétions excrémentitielles sont, au contraire, destinées à rejeter du sang les éléments qui doivent en sortir. L'urine est le type de ce genre de sécrétion, et l'on sait qu'elle est très-abondante. Mais l'urée, qui la caractérise, ne s'élimine pas seulement par les reins, il en sort aussi par diverses glandes, notamment celles de l'appareil intestinal, et cette voie auxiliaire d'élimination fonctionne même avec une grande énergie quand l'action des reins se trouve entravée ou supprimée, par exemple à la suite de la néphrotomie.

La digestion est due en grande partie à l'action des liquides organiques produits par les sécrétions intestinales, et nous avons dit que ces liquides contenaient des substances autres que celles qu'ils avaient empruntées au sang. C'est là ce qui les distingue des sécrétions excrémentitielles, et il en résulte qu'on peut préparer des liquides digestifs artificiels, tandis qu'il serait impossible de faire une urine artificielle.

La théorie de la digestion a passé par les phases les plus diverses. Dans l'antiquité, Hippocrate et ses successeurs la considèrent comme une coction, une fermentation ou même une putréfaction. Plus tard on y vit surtout une trituration, parce qu'on l'avait étudiée chez des animaux dont l'estomac est pourvu de fibres musculaires très-puissantes, comme le gésier des oiseaux notamment. Enfin, c'est Réaumur et Spallanzani qui ont fait entrer la question dans une voie véritablement scientifique et ont mis en évidence le rôle capital joué par les liquides dans ce phénomène.

Réaumur prit des petits fragments de viande qu'il plaça dans des tubes de plomb que le gésier des oiseaux ne pouvait broyer et il montra que ces morceaux de viande avaient cependant été digérés sous l'influence des liquides digestifs. Puis il retira ces liquides digestifs de l'estomac à l'aide de petits morceaux d'éponges attachés au bout d'une ficelle et qu'il faisait avaler à des dindons. Il put ainsi faire digérer de la viande dans un verre. Le même procédé servit à opérer des fécondations artificielles.

Depuis cette époque, on a retiré tous ces liquides digestifs de l'organisme et on les a examinés l'un après l'autre. C'est Éberle qui a montré, le premier, qu'on pouvait préparer des liquides digestifs artificiels. Il prenait une membrane muqueuse stomacale et, en la dissolvant dans l'eau avec un acide, il obtenait un liquide possédant la propriété de digérer les aliments comme le ferait un animal vivant. Ces expériences prouvent clairement que les phénomènes digestifs ne sont pas la conséquence d'une force vitale en inhérence avec l'organisme vivant, mais qu'ils tiennent aux propriétés physico-chimiques des liquides produits par l'organisme.

Quand on opère de la même manière sur la muqueuse de la bouche, on n'obtient plus de liquide capable de digérer les aliments, ce qui prouve que ce n'est point là une propriété générale de toutes les muqueuses. Il y a plus : lorsqu'on opère de la manière que nous venons de dire sur la muqueuse stomacale, ce n'est point la muqueuse elle-même qui produit le liquide doué de propriétés digestives, ce sont les petites glandes contenues dans cette muqueuse. Avec les glandes salivaires, on obtient encore une salive artificielle en opérant de la même façon ; mais ce liquide n'a point la même nature que le liquide fourni par la muqueuse stomacale, et il en est de même des infusions obtenues avec les autres glandes : chacune d'elles fournit un liquide spécial. Ainsi, la glande salivaire parotidienne donne par infusion une salive visqueuse, le pancréas, un liquide d'un autre genre, etc.

Mais la bile présente un caractère tout différent ; c'est un liquide d'excrétion, et l'on ne peut l'obtenir artificiellement

Digitized by Google

en dissolvant le foie, à moins que le foie sur lequel on opère n'ait point été convenablement lavé et contienne encore de la bile dans ses tissus. Les liquides excrémentitiels en général, ou excrétions, ne peuvent donc s'obtenir artificiellement par le même procédé que les sécrétions accrémentitielles, c'est-à-dire une infusion de la glande où ils se produisent normalement. Ainsi, on aurait beau faire infuser les reins, qu'il serait impossible d'en faire sortir une urine artificielle, car l'urée existe toute formée dans le sang, comme l'ont montré les expériences de MM. Prévost et Dumas, et les reins n'ont point d'autres fonctions que de l'en extraire.

Ainsi, les glandes d'excrétion sont, pour ainsi dire, des filtres. On pourrait, en quelque sorte, les comparer à une couche de charbon animal sur laquelle on fait passer du vin qui conserve son alcool, mais y abandonne son principe colorant. Il n'en est point de même des glandes de sécrétions accrémentitielles ; celles-ci ne sont plus seulement des filtres, car aux matières qu'elles ont extraites du sang elles en ajoutent d'autres qui proviennent de leurs propres tissus.

Les sécrétions accrémentitielles sont discontinues ; ainsi l'estomac ne produit de suc gastrique qu'à certains moments, le pancréas ne sécrète de même que dans des circonstances données, les glandes salivaires également, etc. Les excrétions, au contraire, sont continues, surtout l'excrétion urinaire et l'excrétion pulmonaire ; car nous verrons que le poumon doit être considéré comme un véritable organe sécréteur de gaz, et que l'acide carbonique se trouve éliminé dans cette glande de la même manière que l'urée l'est dans les reins.

Les excrétions sont continues, mais cela n'empêche pas qu'elles ne soient plus abondantes dans certaines circonstances que dans d'autres. Par exemple, lorsqu'on injecte de l'eau en excès dans l'organisme, et surtout dans les veines, il faut bien que cette eau trouve une voie pour s'en aller, et cette voie c'est celle des urines. La sécrétion des reins augmente alors dans une proportion considérable, mais les autres sécrétions ne sont point modifiées.

Nous avons dit plus haut que les sécrétions comprenaient à la fois des phénomènes chimiques et des phénomènes mécaniques ; les premiers viennent de nous occuper, quant aux seconds, ils dérivent de la force d'impulsion produite par les contractions du cœur. Pour les sécrétions accrémentitielles, l'action du cœur n'est point constante ; elle ne se fait sentir que dans certaines circonstances, et c'est le système nerveux qui sert en quelque sorte de barrière pour arrêter l'action du cœur ou la laisser se propager, suivant les cas. Dans les excrétions, au contraire, et surtout dans celles des reins, on ne trouve pas de barrière de ce genre résultant d'une action nerveuse, et il en résulte des conséquences remarquables.

Le sang est le théâtre nécessaire des sécrétions, et l'on sait maintenant très-bien que les reins, les glandes salivaires, le pancréas et les autres glandes de l'organisme sont effectivement placés le long des vaisseaux sanguins et pénétrés par un réseau capillaire très-développé, dans lequel séjourne le sang. Or, ces sécrétions exigent, pour se produire, certaines conditions de pression dérivant du cœur, et les anciens croyaient même que c'était là tout le déterminisme du phénomène. D'après ces idées, la sécrétion serait due à une simple pression physique du sang contre les parois des glandes, qui se seraient ainsi laissées traverser, à peu près comme ferait un filtre au-dessus duquel on comprimerait de l'eau. Certaines glandes sont garanties, dans l'état ordinaire, contre ces pressions mécaniques parties du cœur : ce sont les glandes de sécrétions accrémentitielles, et particulièrement les glandes annexées à l'appareil digestif. D'autres, au contraire, et particulièrement les reins, ne sont point protégées de la même façon.

Supposons maintenant que l'on introduise une certaine quantité d'eau dans l'organisme, qu'on l'ait injectée directement dans les veines ou qu'on l'ait fait absorber par le canal digestif, le volume du sang va évidemment se trouver tout à coup augmenté dans des proportions considérables ; la pression du sang contre les reins étant devenue plus forte, la sécrétion urinaire sera forcément activée, comme cela a lieu, par exemple, après le repas, sous l'influence de l'absorption des boissons. Il en est de même, et toujours par des raisons identiques, quand on lie les artères des membres, parce que la quantité de sang reste la même, tandis que le champ de la circulation se trouve notablement rétréci.

Le pancréas, les glandes salivaires et les autres glandes accrémentitielles se trouvent, au contraire, dans une tout autre situation. Elles ont devant elles une sorte de barrière produite par la contraction des vaisseaux sanguins qui y aboutissent sous l'influence d'une action nerveuse spéciale, et dès lors les modifications de pression ou de volume du sang ne sauraient les atteindre tant que cette barrière n'est pas levée.

Les sécrétions n'existent pas chez tous les êtres vivants. C'est là, en quelque sorte, un perfectionnement, un phénomène de luxe, qui n'est point indispensable à la vie. L'amibe, par exemple, n'a aucun appareil digestif. C'est un animal aussi simple que possible, on pourrait presque dire un fragment de matière vivante, où ne semble exister aucune distinction, aucune délimitation d'organes. La digestion n'existe pas non plus chez les végétaux, et on ne la trouve point davantage d'une manière distincte chez les animaux inférieurs. La vie existe cependant chez eux avec les deux grands phénomènes qui lui sont indispensables : l'absorption et l'élimination, c'est-à-dire l'assimilation et la désassimilation.

Mais nous avons dit que nous considérerions toujours plus particulièrement les fonctions au point de vue des animaux supérieurs, parce que c'était là qu'elles se distinguaient mieux les unes des autres. Nous allons donc esquisser les différents phénomènes de la digestion, en nous plaçant surtout au point de vue des vertébrés et même des mammifères, et nous considérerons surtout les sécrétions comme des fonctions destinées à réparer le sang, soit directement en y versant certains produits, comme les glandes à sécrétions internes, soit indirectement en concourant à la digestion qui permet l'absorption des matières alimentaires par les veines et les chylifères.

La digestion comprend deux ordres de phénomènes : des phénomènes mécaniques d'un côté, des phénomènes chimiques de l'autre, et l'on a successivement attribué le principal rôle ou même un rôle unique à chacun d'eux.

Au point de vue chimique, la digestion présente à peu près les mêmes phénomènes chez tous les animaux, car leurs aliments ont partout la même composition chimique et comprennent les mêmes principes : des matières grasses, des matières amylacées et des matières azotées. Au contraire, les phénomènes mécaniques de la digestion diffèrent beaucoup d'une classe d'animaux à une autre classe, et il est évident, par exemple, que les dents aiguës et tranchantes des carnivores ne sont pas destinées à broyer l'herbe, tandis que les dents

Digitized by Google

plates, larges et massives des herbivores, n'ont point pour fonctions de déchirer des proies vivantes.

Au fond, tous les animaux comme tous les végétaux se nourrissent donc de matières semblables. Il y a seulement cette différence, que certains animaux ont des moyens particuliers pour prendre ou dépecer certains aliments, tandis que d'autres animaux ont des moyens d'un autre genre. Mais ce ne sont point là des différences essentielles, car on peut nourrir des herbivores avec des chairs convenablement préparées par l'homme. Ainsi M. Claude Bernard a plus d'une fois nourri des lapins avec de la viande bouillie, pour exécuter certaines expériences. D'un autre côté, on peut aussi, en employant certains artifices, nourrir des carnivores avec des substances d'origine végétale, du pain par exemple. Mais ni les uns ni les autres ne sauraient préparer ces aliments anormaux pour les adapter à leur organisme.

Les différentes sécrétions, que nous trouvons établies le long du tube intestinal des animaux supérieurs, ont précisément pour but de préparer les aliments ingérés pour les rendre propres à l'absorption et à l'assimilation. Ces diverses sécrétions sont les liquides salivaires, le suc gastrique, la bile et le suc pancréatique, le liquide intestinal, celui du côlon et celui du cæcum.

Et d'abord la salive. Cette humeur joue principalement un rôle physique dans la digestion, et elle manque chez un certain nombre d'animaux. Cependant on lui a reconnu en outre des usages chimiques du reste assez restreints.

La salive sert surtout à humecter les aliments pour en faciliter la déglutition. Aussi l'intensité de cette sécrétion varie-t-elle notablement avec l'état physique, ou si l'on veut, l'état hygrométrique des aliments. Qu'on prenne, par exemple, un cheval, et qu'on ouvre les conduits des glandes salivaires parotidiennes en y adaptant un tube, de manière à recueillir la salive qui s'écoule. Si l'on fait alors manger à ce cheval du foin sec, il se produit sous l'influence de la mastication et de la matière alimentaire une quantité énorme de salive parotidienne, à tel point qu'on peut en recueillir jusqu'à 1 litre en très-peu de temps. Si on lui donne, au contraire, du son humecté, la sécrétion salivaire est beaucoup moins abondante, et cette différence tient évidemment à une action toute physique, car le son sec provoque également, comme le foin, une sécrétion très-active des glandes salivaires.

Les diverses glandes salivaires (parotidiennes, sous-maxillaires et sublinguales) n'entrent pas en même temps en sécrétion. La glande sous-maxillaire donne une salive visqueuse en rapport plus spécial avec la déglutition et les phénomènes qui la suivent. Elle fonctionne particulièrement sous l'influence des corps sapides, et elle est plus sensible à l'action des acides qu'à celle des alcalis.

Il faut soigneusement distinguer les diverses espèces de salives particulières, et la salive totale résultant de leur mélange. La salive parotidienne est relativement très-liquide; la salive sous-maxillaire est visqueuse, comme nous venons de le dire, enfin la salive de la glande sublinguale et des glandes de la muqueuse buccale est aussi très-visqueuse. Ces salives particulières sont toujours alcalines, et il n'y a jamais d'exception à cette règle, ni à l'état normal ni à l'état pathologique, chez quelque animal que ce soit.

L'action chimique de la salive a surtout été étudiée dans la salive mixte ou totale. Quoique les salives particulières de chaque glande soient toujours alcalines en sortant des conduits excréteurs, la salive mixte présente souvent une réaction acide lorsque la bouche est sèche. Il se produit peut-être dans ce cas de l'acide lactique qui sature l'alcalinité naturelle de la salive. La raison de ce fait n'est pas encore bien connue.

On trouve dans la salive une substance active particulière à laquelle Berzelius a donné le nom de ptyaline. C'est surtout à sa présence que les salives parotidienne et sublinguale doivent leur visquosité, et elle jouit de la propriété de transformer l'amidon en sucre de raisin ou glycose. La salive parotidienne n'en contenant pas serait évidemment incapable de produire le même effet.

Les glandes salivaires entrent en fonction sous l'influence du système nerveux par suite d'une série d'actions réflexes fort intéressantes qui se produisent lorsque les aliments sont introduits dans la bouche. La vue seule des aliments, présentés de loin à un animal qui est pressé par la faim, suffit même pour *faire venir l'eau à la bouche*, comme on dit vulgairement, c'est-à-dire pour provoquer une sécrétion salivaire plus ou moins abondante. C'est alors une action réflexe qui se produit, en quelque sorte, par l'œil et le nerf optique.

Le mécanisme de l'action nerveuse a surtout été étudié pour la glande sous-maxillaire et la glande parotide ; et l'on connaît aujourd'hui les nerfs qui agissent sur ces glandes.

La glande sous-maxillaire fonctionne sous l'influence d'un rameau de la corde du tympan, nerf moteur, qui est une des divisions du nerf facial. Avant d'arriver à la glande sous-maxillaire, ce filament moteur s'accole pendant un certain temps avec un nerf de sensibilité, le nerf lingual, qui fait partie du rameau maxillaire inférieur de la cinquième paire nerveuse cérébrale (le trijumeau), et qui se distribue dans la langue pour y recevoir les impressions gustatives. Vers l'anse formée par ces deux nerfs se trouve un petit ganglion se rattachant au système grand sympathique et qu'on appelle le ganglion sous-maxillaire.

Quand on irrite le bout du nerf lingual en déposant sur la

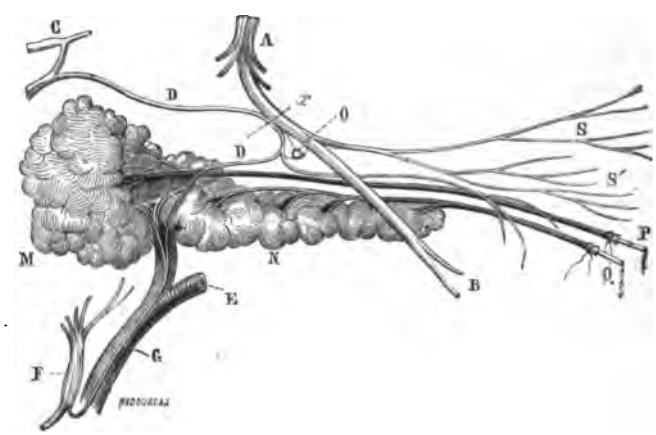


FIG. 13. — Les glandes salivaires sous-maxillaire et sublinguale chez le chien, et les nerfs et les vaisseaux en rapport avec la glande sous-maxillaire, pour montrer le mécanisme de la sécrétion dans cette glande.

M. Glande salivaire sous-maxillaire. — N. Glande salivaire sublinguale. — P. Conduit excréteur de la glande sous-maxillaire dans lequel on a introduit un tube. — Q. Conduit excréteur de la glande sublinguale, dans lequel on a aussi introduit un tube. — AB. Nerf lingual provenant de la branche maxillaire inférieure de la cinquième paire nerveuse cérébrale (le trijumeau). — SS'. Rameau du nerf lingual se distribuant dans la muqueuse buccale. — C. Nerf facial. — DD. Corde du tympan, rameau du nerf facial se distribuant dans la glande sous-maxillaire après s'être accolé quelque temps au nerf lingual. — O. Ganglion sympathique sous-maxillaire. — F. Ganglion cervical supérieur. — G. Rameau nerveux allant du ganglion cervical supérieur à la glande sous-maxillaire. — E. Artère maxillaire profonde desservant la glande sous-maxillaire.

Digitized by Google

langue un corps sapide, comme du vinaigre, le conduit excréteur de la glande fournit aussitôt un écoulement assez abondant, et cette sécrétion est due à une action réflexe se transmettant par le nerf lingual, le centre cérébral et la corde du tympan qui est le nerf sécréteur proprement dit de la glande sous-maxillaire. Cette impression se transmet même de l'autre côté du corps à la seconde glande sous-maxillaire par suite d'un chiasma ou d'un entrecroisement de fibres qui se produit sans aucun doute dans les centres nerveux. C'est ce qui fait qu'on obtient encore une sécrétion salivaire dans la glande dont on a coupé le nerf lingual, grâce à l'action réflexe, partie du nerf lingual sain opposé au nerf lingual détruit. Mais si l'on coupe le nerf lingual des deux côtés à la fois, il ne se produit plus rien.

Ainsi le nerf sécréteur n'est, en définitive, qu'un nerf moteur intervenant dans une action réflexe, et nous verrons, en parlant d'une manière générale des autres glandes de l'organisme, que les nerfs sécréteurs ne sont jamais que cela.

On peut facilement établir par expérience que le mécanisme de la sécrétion est bien celui que nous venons d'indiquer. Il suffit pour cela de couper successivement, soit la corde du tympan, soit le nerf lingual, et l'on voit ainsi que, dès que l'un de ces deux organes nerveux vient à faire défaut d'une manière complète, la sécrétion cesse de se produire. Le centre de cette action réflexe se trouve dans le cerveau, ou plutôt dans la protubérance annulaire d'où partent les nerfs de la cinquième paire cérébrale. Lorsqu'on irrite, au moyen de l'électricité, le bout périphérique des nerfs sécréteurs ainsi coupés, on remplace l'action du cerveau, et la sécrétion se produit, ce qui vient encore confirmer l'explication que nous avons donnée du mécanisme de l'action nerveuse.

Mais ce n'est pas tout encore : il se passe là un fait très-curieux qui peut servir de point de départ à toute une théorie. Si l'on coupe le nerf lingual et la corde du tympan, en x, un peu au delà du point sur lequel ils s'accolent pendant un certain temps, c'est-à-dire plus près du cerveau, on constate que la sécrétion salivaire de la glande sous-maxillaire continue à se produire quand on applique sur la langue, non plus des corps sapides, mais certains irritants qui agissent par des propriétés physiques, en desséchant la langue par exemple, comme fait un morceau de sel. Cette sécrétion est, du reste, moins abondante que celle qui se produit sous l'influence du cerveau, et le centre de l'action réflexe dans ce cas, c'est le petit ganglion sympathique sous-maxillaire. Ce fait, jusqu'ici unique dans son genre, a été découvert par M. Cl. Bernard, et il a une très-grande importance, parce qu'il montre qu'un ganglion du grand sympathique peut être le centre d'une action réflexe, comme l'avait déjà pressenti Bichat.

La glande sublinguale est soumise à l'influence des mêmes nerfs que la glande maxillaire, et le mécanisme de la sécrétion s'explique dès lors chez elle d'une manière analogue.

Quant à la glande parotide, on avait soutenu qu'elle sécrétait simplement sous l'influence de la pression qu'elle subissait de la part des mâchoires. Mais c'est certainement là une erreur; il est incontestable que c'est le système nerveux qui la fait entrer en sécrétion. Les rameaux nerveux qui dominent la glande parotide dérivent aussi du nerf facial. Avant de fournir la corde du tympan qui se distribue dans la glande sous-maxillaire, le nerf facial émet un autre rameau, le nerf vidien qui arrive au ganglion otique d'où part le nerf temporal superficiel, dont certains filets aboutissent à la glande parotide. On provoque l'entrée en sécrétion de la glande lorsqu'on irrite ce nerf, et cela montre clairement que c'est bien là, en effet, le nerf sécréteur.

Les glandes salivaires ne sécrètent pas autant les unes que les autres, c'est-à-dire que la glande sous-maxillaire du côté droit, par exemple, sécrète plus ou moins que la glande symétrique placée de l'autre côté de la tête. Il faut signaler ce fait, parce qu'on a cru plus d'une fois pouvoir se contenter d'opérer sur la glande d'un côté et de doubler ensuite la quantité de salive obtenue pour avoir la sécrétion totale.

Le pharynx, surtout chez le cheval, sécrète aussi un liquide particulier. On l'a prouvé directement en recueillant ce liquide après avoir lié les conduits des glandes salivaires, pour empêcher la salive d'intervenir dans l'expérience. Le liquide ainsi obtenu ressemble du reste beaucoup à la salive.

Le suc gastrique a été ainsi nommé, parce qu'il se produit dans l'estomac. On l'a confondu autrefois avec la salive, quoique les expériences très-bien faites de Réaumur et de Spallanzani eussent déjà distingué ces deux liquides. Cependant, vers le commencement de ce siècle, et jusqu'en 1822 ou 1825, la question s'était tellement embrouillée qu'on ne savait plus du tout ce que c'était que le suc gastrique. Mais vers cette époque, l'Académie des sciences mit l'étude du suc gastrique au concours pour le prix de physiologie expérimentale, et il parut alors plusieurs ouvrages importants sur ce point, notamment ceux de Tiedemann et Gmelin, de Leuret et Lassaigne. Les difficultés du sujet venaient en grande partie de ce qu'on n'avait pas su déterminer convenablement la réaction véritable du suc gastrique. Tantôt on avait trouvé le liquide alcalin et tantôt on l'avait trouvé acide; Montègre disait même que cela tenait à une action particulière des aliments, certaines substances, comme le pain par exemple, acidifiant la salive, tandis que d'autres ne produisaient pas le même effet. Toutes ces variations étaient exactes comme faits bruts; mais l'interprétation qu'on leur donnait ne valait rien, et l'on sait très-bien aujourd'hui que l'acidité produite par certains aliments tient tout simplement à des fermentations lactiques ou butyriques qui se déclarent.

Les glandes qui sécrètent le suc gastrique sont moins bien

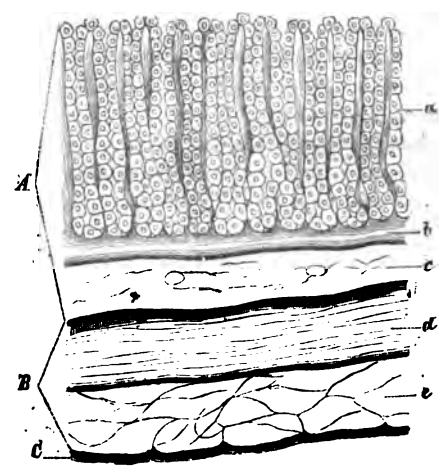


Fig. 14. — Coupe perpendiculaire à travers les membranes de l'estomac chez l'homme, d'après Leydig.

A. Muqueuse. — *B*. Muqueuse musculaire. — *C*. Enveloppe séreuse. — *a*. Glandes. — *b*. Couche musculeuse de la muqueuse. — *c*. Son stratum conjonctif. — *d*, *c*. Couches longitudinales et transversales de la muqueuse musculaire.

connues que les glandes salivaires. Elles sont placées dans la muqueuse stomacale; mais on trouve à la fois dans cette mu-

Digitized by Google

queuse des glandes propres de la muqueuse et des glandes du suc gastrique. Chez l'homme, la moitié de l'estomac placée du côté du grand cul-de-sac produit une sécrétion alcaline, et la moitié pylorique fournit, au contraire, une sécrétion acide qui est le véritable suc gastrique.

L'anatomie comparée permettait déjà, du reste, de pressentir ce fait, car chez les ruminants qui possèdent, comme on le

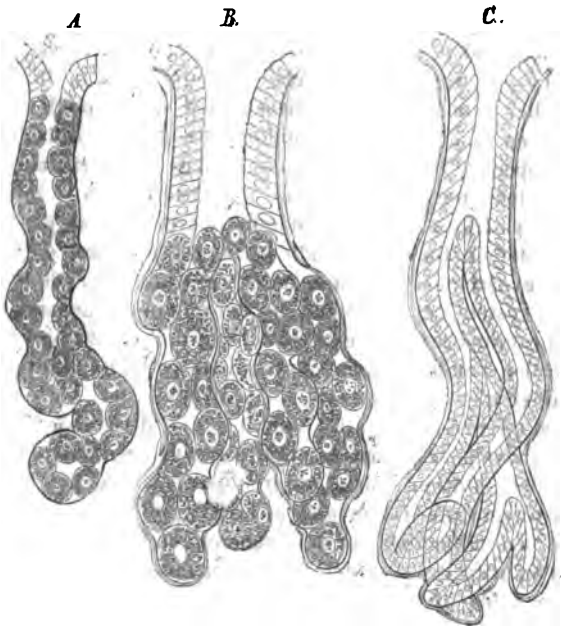


Fig. 15. — Glandes stomacales de l'homme représentées isolément, d'après Leydig. *a*. Glande à caillette simple. — *b*. Glande composée. — *c*. Glande de la muqueuse stomacale à cellules cylindriques.

sait, quatre estomacs placés l'un à la suite de l'autre et que les aliments parcourent successivement, le seul de ces quatre estomacs qui sécrète le suc gastrique, c'est la caillette, c'est-à-dire celui qui est placé le dernier de tous du côté du pylore. Chez le cheval, qui n'a qu'un seul estomac, c'est aussi la moitié pylorique qui produit le suc gastrique.

Les expériences physiologiques de Prevost et Leroyer (de Genève) prouvent également — et d'une manière directe — que la réaction n'est pas la même dans les deux moitiés de l'estomac. Ces expérimentateurs introduisaient dans l'estomac un morceau de papier de tournesol qui devenait rouge dans la moitié pylorique, tandis qu'il restait bleu dans l'autre moitié. Enfin, les observations faites par le docteur W. Beaumont sur son Canadien,— conduisent également au même résultat.

Chez l'homme et chez la plupart des animaux supérieurs, l'estomac reste vide pendant les intervalles de la digestion. Chez les ruminants, au contraire, l'estomac contient toujours des aliments. Il en est de même pour le lapin, et les aliments se disposent chez lui en couches successives et concentriques, de telle sorte que les plus récents sont placés au milieu, tandis que les plus anciens seulement se trouvent en contact avec les parois stomacales, et le nombre des couches successives est assez considérable. Van Helmont était parti de là pour prétendre que la digestion exigeait un levain, c'est-à-dire une substance fermentescible communiquant sa propriété aux aliments. Mais ce sont là des faits particuliers qui ne peuvent pas fournir de base sérieuse à une théorie générale. Il en est de même de cette particularité que présentent certains animaux, de conserver longtemps leurs aliments dans l'estomac, qui avait servi de point de départ aux systèmes considérant la digestion comme une putréfaction ou une coction.

C'est surtout chez les animaux dont l'estomac est vide pendant l'abstinence qu'on peut observer directement les phénomènes digestifs. On connaît les célèbres observations faites par le docteur W. Beaumont sur un Canadien, grâce à une fistule stomacale résultant d'un accident de chasse et qui permettait de voir dans son estomac. Lorsque l'estomac était vide, il présentait un aspect grisâtre et une surface plissée; puis, quand les aliments arrivaient, il se produisait un mouvement vermiculaire du viscère, la muqueuse stomacale prenait une teinte rouge et se couvrait de suc gastrique comme la peau se couvre de sueur : on voyait même les gouttes de suc gastrique qui sortaient de la muqueuse se réunir les unes aux autres. Tous ces phénomènes se passaient surtout dans la région pylorique.

C'est là une véritable expérience accidentelle qu'on a répétée depuis sur des animaux. M. Blondlot (de Nancy) l'a exécutée sur des chiens, et il a constaté les mêmes phénomènes que le docteur Beaumont avait déjà observés sur l'homme.

Les phénomènes nerveux qui président à la sécrétion du suc gastrique sont beaucoup moins bien connus que ceux qui président aux sécrétions salivaires. On sait cependant que la sécrétion diminue lorsqu'on coupe les filets du pneumogastrique se distribuant dans l'estomac. M. Blondlot a constaté que la simple vue des aliments pouvait provoquer une sécrétion de suc gastrique aussi bien que de salive.

Berzelius a remarqué depuis longtemps que l'alternance des réactions des sucs digestifs le long du canal intestinal favorisait beaucoup leur production. M. Blondlot a observé, en effet, qu'en saupoudrant les morceaux de viande avec du carbonate de soude avant de les faire manger par des animaux, ils produisaient une sécrétion de suc gastrique bien plus abondante en arrivant dans l'estomac.

De même que la salive contient un principe actif, la ptyaline, le suc gastrique en contient un autre qu'on appelle la pepsine. C'est grâce à l'action de cette pepsine que se produit la digestion des matières azotées.

Nous arrivons maintenant aux différents liquides de l'intestin, et là nous trouvons d'abord la bile. La bile est-elle une sécrétion ou une excrétion? C'est la première question qui se présente dans l'étude de cette substance, et il faut la résoudre avant de pouvoir déterminer son rôle dans l'organisme.

Nous avons vu que ce qui distinguait les excrétions des sécrétions, c'est que les premières ne font jamais qu'extraire du sang des principes qui s'y trouvent tout formés, comme l'urée par exemple; tandis que les sécrétions proprement dites, ou sécrétions accrémentitielles, se rattachent moins intimement au sang, car, outre ce qu'elles empruntent à ce liquide, elles contiennent toujours une substance spéciale, un ferment ou un produit fermentescible, tel que la ptyaline, la pepsine, etc., produit qui prend naissance dans leurs tissus mêmes, puisqu'on peut obtenir un liquide jouissant des mêmes propriétés fermentescibles en faisant une dissolution de la glande. La question se ramène donc à savoir si le foie est dans le premier cas ou dans le second. Or, toutes les analyses chimiques de la bile prouvent qu'elle ne contient pas de principe fermentescible distinct, et, lorsqu'on fait infuser le foie dans de l'eau, on n'obtient jamais de bile, à moins que les tissus du viscère sur lequel on opère n'aient été mal lavés et ne continssent encore de la bile toute formée.

Digitized by Google

Mais le foie ne produit pas seulement de la bile : M. Claude Bernard a montré que c'est une glande double qui sécrète aussi du sucre ou plutôt une matière glycogène destinée à se transformer en sucre sous des influences physico-chimiques convenables. A la suite de ces indications physiologiques, les anatomistes, particulièrement MM. Robin et Morel (de Strasbourg) en France et M. Henle en Allemagne, ont cherché et sont même plus ou moins parvenus à distinguer et à séparer les deux glandes qui se réunissent pour former le foie, la glande biliaire et la glande glycogénique.

L'anatomie comparée conduisait aussi à la même conclusion, l'existence de deux glandes distinctes dans le foie, car chez les insectes les conduits biliaires ne représentent plus que le foie biliaire et ne comprennent plus de cellules glycogéniques. Chez la chenille (larve), comme chez le papillon (insecte parfait ou adulte), les sortes de cæcums qu'on trouve après le pylore et qui servent à la production de la bile ne fournissent pas de sucre ; mais, en revanche, ils servent en même temps à l'excrétion urinaire, et la réunion de ces deux fonctions dans le même organe semble bien indiquer que ce sont toutes les deux des excrétions.

En effet, on ne peut caractériser un organe par les matières qu'il élimine ; mais on le caractérise très-bien par celles qu'il produit. L'urée, par exemple, à l'état normal, s'élimine surtout sans doute par les reins ; mais quand on enlève les reins, la muqueuse stomacale sert à l'élimination de l'urée ; dans des proportions relativement très-considérables, l'estomac joue le rôle d'une véritable vessie, c'est-à-dire d'un récipient emmagasinant l'urine ; et le liquide qu'il contient, tout en conservant les propriétés du suc gastrique, propriétés qu'il possède normalement, a pris de plus les propriétés de l'urine. La séparation de l'urée du sang ne suffit donc point pour caractériser les reins, puisque d'autres organes, l'estomac par exemple, peuvent également accomplir cette fonction dans des conditions anormales particulières. Il n'est pas étonnant, dès lors, que l'excrétion urinaire puisse être produite chez les insectes par les conduits biliaires, comme elle l'est quelquefois par l'estomac chez les vertébrés.

Toutes les glandes de l'organisme sont propres à l'élimination de toutes les substances qui doivent être expulsées du sang ; il y a seulement entre elles, sous ce rapport, des différences de sensibilité relativement à chaque élimination en particulier, et, si le temps me le permettait, je pourrais montrer comment cette diversité de sensibilité éliminatrice pour des substances déterminées constitue les glandes comme des *trop-pleins* qui éliminent les substances de manière à les maintenir toujours dans la même proportion ; ce qui fait que le sang garde sa composition constante. Une glande quelconque pourrait donc à elle seule excréter toutes les matières organiques ou inorganiques contenues dans le sang ; seulement elle éliminerait les unes complétement et très-rapidement, les autres beaucoup plus lentement et plus difficilement, et il arriverait même que, pour certaines substances, la quantité extraite pendant un temps donné serait tellement minime, qu'elle deviendrait tout à fait insensible et passerait ainsi pour nulle.

C'est ce qui arrive, par exemple, pour le prussiate jaune de potasse. Lorsqu'on injecte ce corps dans le sang, il s'élimine ou plutôt ne semble s'éliminer que par l'estomac et les reins ; et notamment on n'en trouve pas la moindre trace dans la salive. M. Cl. Bernard voulut chercher autrefois s'il y avait là une simple difficulté d'observation, ou si l'élimination du prussiate jaune de potasse fournissait réellement un moyen de différencier les glandes salivaires des autres glandes de l'organisme, notamment des reins et des glandes stomacales.

Il était tout naturel de chercher à rendre sensible l'élimination du prussiate jaune de potasse par les glandes salivaires en injectant dans les veines une quantité plus considérable de ce corps. Mais on ne pouvait pas augmenter indéfiniment cette dose de prussiate jaune de potasse sans déterminer des phénomènes toxiques très-graves. Ainsi un chien de moyenne taille, comme ceux qui servent d'ordinaire aux expériences physiologiques, ne peut guère supporter que 30 centimètres cubes d'une dissolution au centième de prussiate jaune de potasse. Or, les glandes salivaires ne semblaient pas encore éliminer de prussiate jaune de potasse sous l'influence de cette dose, et, quand on la dépassait, l'animal ne tardait pas à succomber, ce qui rendait toute observation ultérieure impossible.

Il fallait donc trouver le moyen de faire passer dans les glandes salivaires un sang plus riche encore que celui-là en prussiate jaune de potasse, sans cependant empoisonner l'animal par cette substance. M. Cl. Bernard y arriva en injectant directement dans l'artère qui dessert la glande salivaire sous-maxillaire une dissolution assez concentrée de prussiate jaune de potasse qui agissait ainsi sur la glande d'une manière bien plus énergique, parce qu'elle se répartissait sur une quantité de sang beaucoup moindre, et l'on ouvrait la veine qui sort de la glande sous-maxillaire pour faire écouler au dehors le sang ainsi chargé d'une quantité énorme de prussiate jaune de potasse qu'on avait fait passer dans la glande, et qui ne pouvait plus, grâce à cet artifice, produire des désordres dans le reste de l'organisme.

En opérant de cette manière, M. Cl. Bernard constata que la salive contenait des proportions sensibles de prussiate jaune de potasse, et que, par conséquent, les glandes salivaires jouissaient, comme toutes les autres glandes, de la propriété d'éliminer ce corps lorsqu'il avait été introduit dans le sang. La règle que nous énoncions tout à l'heure ne subit donc point d'exception, ou au moins d'exception jusqu'ici connue. On ne peut donc caractériser une glande par son action éliminatrice sur une certaine substance, attendu qu'il n'y a jamais là qu'une différence de degré. Les sécrétions accrémentitielles, au contraire, se caractérisent très-bien par les substances qu'elles contiennent : le lait ne se forme que dans les glandes mammaires, le suc pancréatique dans le pancréas, la ptyaline dans les glandes salivaires, la pepsine dans l'estomac, etc., et les glandes autres que celles qui fournissent normalement chacune de ces substances sont tout à fait incapables de les produire dans quelques circonstances que ce soit.

D'après toutes les considérations que nous venons de développer, on voit facilement que la bile est une excrétion, ce qui ne l'empêche pas de servir aussi dans une certaine mesure à l'accomplissement des fonctions digestives. Mais elle n'est pas indispensable à la production régulière de ces phénomènes, car elle ne contient pas, comme le suc gastrique ou le suc pancréatique, de matière fermentescible qui lui soit propre, et qu'on ne puisse trouver autre part.

La sécrétion biliaire est, du reste, une sécrétion continue. Si la bile ne coule pas d'une manière permanente par le conduit excréteur du foie, le canal cholédoque, c'est qu'au devant du foie se trouve la vésicule biliaire dans laquelle cette humeur s'accumule, et le déversement par le canal chol-

Digitized by Google

doque n'a lieu que pendant la digestion, absolument comme le dégorgement de la vessie ne se fait qu'à intervalles périodiques, bien que la sécrétion urinaire soit constante, et que l'urine arrive dans la vessie d'une manière non interrompue. Aussi, suivant que le déversement s'est fait plus ou moins attendre, la vésicule biliaire, imitant encore en cela la vessie, est plus ou moins gonflée, et, en outre, le liquide qu'elle contient a une densité plus ou moins considérable.

Certains animaux, comme le cheval par exemple, n'ont pas de vésicule biliaire; mais alors les conduits biliaires eux-mêmes en tiennent lieu et en remplissent les fonctions. En effet, chez le cheval, ces conduits sont serrés par un fort sphincter dont la contraction permanente empêche le passage de la bile, et l'écoulement ne se produit encore qu'à intervalles plus ou moins éloignés, lorsque ce sphincter se détend sous l'influence d'actions nerveuses particulières.

Lorsqu'on pratique des fistules biliaires, de manière à faire écouler la bile en dehors de l'organisme, on constate que les animaux ainsi opérés peuvent vivre encore pendant un temps assez long, malgré la privation de cette humeur. Du reste, ce fait ne suffirait point à lui seul pour établir que la bile est bien une excrétion.

La bile se déverse, en effet, dans le duodénum, à peu près en même temps que le suc pancréatique, par un canal appelé cholédoque et formé par la réunion du canal cystique venant de la vésicule biliaire, et du canal hépatique venant directement du foie. Chez certains animaux, le canal cholédoque débouche dans le duodénum à la même hauteur que le canal excréteur du pancréas; chez d'autres, au contraire, ce dernier canal débouche un peu plus bas. La bile se déverse toujours immédiatement après le pylore; quant au suc pancréatique, il arrive quelquefois dans le duodénum par deux conduits glandulaires excréteurs et quelquefois par un seul.

Il y a, par exemple, deux conduits pancréatiques chez l'homme, le cheval, le chien, le bœuf, etc., et alors de ces conduits l'un se déverse juste en face du conduit biliaire, et l'autre tantôt au-dessus et tantôt au-dessous de l'embouchure du canal cholédoque. Chez le lapin, au contraire, — et beaucoup d'autres animaux sont dans le même cas, — il n'y a qu'un seul conduit pancréatique, lequel débouche dans le duodénum 25 ou 30 centimètres plus bas que le canal cholédoque. L'action du suc pancréatique ne précède donc jamais celle de la bile; quelquefois elle est concomitante avec elle, et quelquefois elle lui est postérieure.

La masse alimentaire, — qui a déjà subi l'action du suc gastrique dans l'estomac où elle a pris un aspect grisâtre et est devenue ce qu'on appelle le chyme, — la masse alimentaire, en débouchant dans le duodénum, se trouve aussitôt soumise à l'influence de la bile, et il se forme une sorte de précipité ou de magma que Magendie appelait le chyle brut.

La bile a une composition chimique très-compliquée. Elle contient notamment divers acides, tels que les acides glycocholique et taurocholique qui paraissent être des produits excrémentitiels. On y trouve aussi une matière colorante particulière qu'on a supposé provenir de la décomposition des globules rouges du sang. Il faut bien, en effet, que cette substance s'élimine par une voie quelconque, et, malgré la différence de couleur qui paraît si considérable entre la matière des globules du sang et la matière colorante de la bile, ces deux matières présentent entre elles les plus grands rapports de composition, comme Berzelius l'indiquait déjà. C'est ainsi, par exemple, qu'on trouve du fer dans l'une comme dans l'autre, et cette particularité a une assez grande importance, car il n'y a dans tout l'organisme que trois parties, contenant

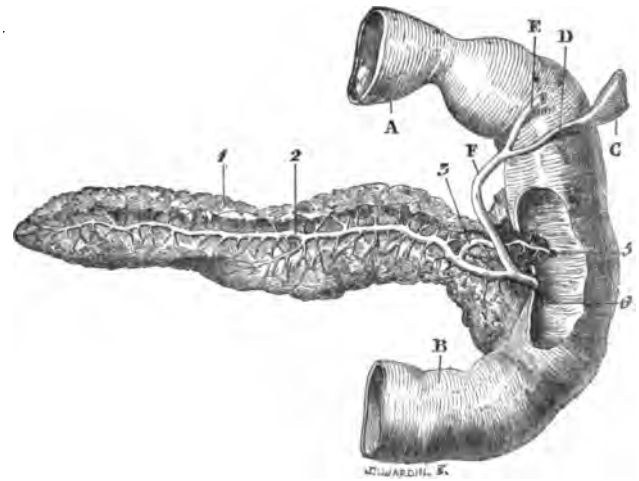


Fig. 16. — Pancréas de l'homme vu par la face postérieure.

1. Pancréas. — 2. Canal pancréatique ou de Wirsung. — 3. Canal pancréatique azygos. — 6. Pli de Vater et ouverture du canal pancréatique et du canal cholédoque dans le duodénum. — 5. Orifice intestinal du canal pancréatique azygos. — A. Extrémité pylorique de l'estomac. — B. Duodénum. — C. Canal cystique. — E. Canal hépatique. — F. Canal cholédoque.

une certaine quantité de ce métal, ce sont les globules rouges du sang, la bile et les poils. On avait même essayé autrefois de profiter de cette circonstance pour évaluer la quantité de globules contenus dans le sang; on incinérait le corps tout entier pour déterminer ensuite, par l'analyse chimique, la quantité de fer contenue dans les cendres, et en déduire le nombre des globules après avoir évalué à part la quantité que renfermaient les poils.

Le pancréas, que les Allemands appellent glande salivaire abdominale, a été souvent, en effet, confondu avec les glandes salivaires, et il présente, du reste, la même apparence et la même structure; toutes ces glandes sont des glandes en grappe, d'une couleur légèrement rosée. La composition du suc pancréatique est aussi physiquement très-analogue à celle de la salive, et il présente également une réaction alcaline. Mais ses propriétés physiologiques sont très-distinctes ou même tout à fait différentes de celles de la salive.

Le pancréas sécrète d'une manière intermittente, et la sécrétion est provoquée par des influences de diverses natures. Leuret et Lassaigne l'ont obtenue par action réflexe en irritant la muqueuse intestinale. Elle se produit aussi par sympathie avec d'autres organes, notamment avec l'estomac, et le phénomène est encore dû à une action réflexe.

Les glandes salivaires se comportent de la même façon, et leur sécrétion, surtout celle de la salive sous-maxillaire et du liquide pharyngien, se continue un certain temps après le passage des aliments, grâce à un mécanisme de ce genre, et la salive ainsi produite descend dans l'estomac où elle peut encore agir sur les aliments qui viennent d'y pénétrer. Fumer après le repas, ce serait donc imiter la nature en irritant la muqueuse buccale avec le tabac, ce qui activerait la sécrétion salivaire. Il est certain, en effet, qu'il serait favorable à la digestion de provoquer la sécrétion d'une quantité plus grande de salive, pourvu toutefois qu'on avale cette salive et qu'on lui permette ainsi d'agir sur les aliments.

Digitized by Google

En faisant infuser le pancréas dans de l'eau, on obtient un liquide jouissant de toutes les propriétés du suc pancréatique. Un médecin de Wurtzbourg, Eberle, est le premier qui ait exécuté cette opération, comme nous l'avons déjà dit plus haut, et nous insistons sur ce fait, pour bien montrer combien était fausse l'idée qu'on se faisait autrefois des sécrétions, en les considérant comme simplement destinées à extraire du sang les principes qui s'y trouvaient tout formés.

Mais ce n'est pas tout : en admettant que ces diverses matières pussent se former dans le sang, elles seraient éliminées par les voies excrétoires ordinaires et ne passeraient point dans les sécrétions accrémentitielles qui continueraient à se former tout entières dans chaque glande spéciale. En effet, M. Cl. Bernard a injecté dans le sang de divers animaux du suc pancréatique, de la salive, etc., en quantités plus ou moins considérables, et il a pu constater que la pancréatine, la ptyaline ou les autres matières fermentescibles contenues dans ces sécrétions s'éliminaient rapidement dans les urines. Ces faits montrent bien que ces produits fermentescibles ne proviennent pas du sang.

On avait prétendu, à propos de la rage, que la salive était toxique lorsqu'on l'injectait dans le sang. Mais MM. Jacubowitch et Schmidt ont montré que les empoisonnements qui s'étaient produits dans ces expériences provenaient des moyens employés d'ordinaire pour recueillir la salive sur l'homme; on le fait, par exemple, très-souvent en excitant la production de la salive par la fumée de tabac, et les propriétés toxiques de la salive ainsi obtenue ne doivent pas dès lors nous étonner. Quand, au contraire, on recueille directement la salive dans les conduits salivaires, ou en crachant, de manière à l'avoir parfaitement pure, on peut toujours l'injecter dans le sang, sans craindre de provoquer de symptômes toxiques.

La pancréatine est une matière albuminoïde, un produit fermentescible spécial à la glande qui le forme et qu'on peut en extraire de la même façon que le principe fermentescible de toutes les autres sécrétions digestives. MM. Payen et Persoz ont les premiers extrait la diastase des grains d'orge germée, en opérant de la manière suivante : ils dissolvaient ces grains d'orge dans l'eau, puis précipitaient par l'alcool et filtraient pour séparer le précipité qui s'était formé. On obtient ainsi toutes les matières albuminoïdes, et on les traite de nouveau par l'eau qui ne dissout plus que les ferments. C'est ainsi qu'on a extrait la ptyaline, la pepsine, la pancréatine.

Ces divers ferments agissent sur les aliments chacun à leur manière. La ptyaline transforme l'amidon en sucre, mais seulement lorsqu'on se trouve dans un liquide à réaction alcaline. La pepsine dissout les matières azotées ou albuminoïdes, en présence d'un liquide à réaction acide : mais elle n'agit aucunement sur l'amidon et les matières amylacées en général; il suffit pour arrêter son action de rendre légèrement alcaline la réaction du suc gastrique en y mélangeant un peu de potasse ou de soude.

Enfin le suc pancréatique agit par la pancréatine qu'il contient. Son action est surtout relative aux matières grasses que la pancréatine a la propriété d'émulsionner; mais elle s'exerce aussi sur l'amidon absolument comme celle de la salive, et s'étend même jusqu'aux matières azotées qui viennent de subir la chymification dans l'estomac.

Ces divers phénomènes chimiques de la digestion ne peuvent se produire qu'à une certaine température qui est à peu près la température normale du corps. Ainsi à 10 degrés au-dessus de 0, et à plus forte raison à une température plus basse encore, il ne se produit rien du tout. Mais à mesure qu'on élève la température, l'intensité de l'action augmente d'une manière progressive jusqu'à 45 à 50 degrés; à partir de ce moment, elle diminue au fur et à mesure que la chaleur augmente, et devient nulle vers 70 ou 75 degrés.

Mais les deux états extrêmes diffèrent en ce sens que les liquides qu'on a fort refroidis ou même gelés peuvent recouvrer leurs propriétés physiologiques normales lorsqu'on les réchauffe, tandis que si on les porte à une température de 75 degrés, ou à plus forte raison de 100 degrés, de manière à les cuire en quelque sorte, leurs propriétés physiologiques sont perdues à tout jamais et ne peuvent plus désormais reparaître. Cependant les réactions n'ont point changé pour cela; mais ce sont les principes fermentescibles qui ont été détruits, et ces expériences montrent combien est essentiel le rôle de ces principes dans la digestion.

Tous ces faits sont parfaitement d'accord avec les données de la zoologie comparée. Ainsi, les hibernants digèrent très-lentement pendant l'hiver, et la digestion des animaux à sang froid est quelquefois si lente que, chez le serpent, par exemple, elle peut, dans certaines circonstances, durer jusqu'à plusieurs mois. Mais lorsqu'on réchauffe l'animal hibernant engourdi, sa digestion devient aussitôt bien plus active, et il se produit exactement les phénomènes qui se manifestent lorsque nous chauffons le verre dans lequel nous opérons nos digestions artificielles, car l'animal, à ce point de vue, se comporte absolument comme ferait un vase inerte.

Spallanzani a observé que la digestion s'arrêtait assez rapidement après la mort, et ce fait s'accorde très-bien avec tout ce que nous venons de dire, car la température ambiante est généralement très-inférieure à la température normale du corps, 38 ou 40 degrés, et aussitôt après la mort l'organisme, qui a perdu ses sources propres de chaleur, tend à se mettre assez rapidement en équilibre calorifique avec l'air extérieur. De là un refroidissement considérable et fort prompt qui doit arrêter bientôt la digestion.

Il faut, en effet, se rendre un compte exact de la manière dont les phénomènes chimiques s'accomplissent chez les êtres vivants, sans quoi on serait souvent amené à concevoir sur ce sujet les idées les plus fausses. Nous ne connaîtrons jamais l'essence de la vie non plus que l'essence d'aucune chose; mais les phénomènes manifestés sous l'influence de la vie et par les êtres en qui elle réside, nous sont accessibles.

Or, ces phénomènes doivent évidemment se produire toutes les fois que les conditions de leur manifestation sont complétement réunies, dans quelque endroit que cela ait lieu, à l'extérieur de l'organisme aussi bien que dans l'intérieur d'un être vivant. Si la digestion s'arrête dans le suc gastrique après la mort, ce n'est donc point parce que l'animal ne vit plus, mais simplement parce que les conditions physico-chimiques indispensables à la production des phénomènes digestifs n'existent plus dans son corps. En effet, Spallanzani, en échauffant l'estomac, c'est-à-dire le corps de l'animal, dans une étuve pour maintenir à peu près sa température à 40 degrés, put ainsi lui faire produire une véritable digestion après la mort. Il est bien clair cependant qu'il ne rendait point pour cela la vie à l'animal dont il faisait ainsi entrer l'estomac en digestion. Seulement, lorsqu'on opère dans ces conditions, le suc gastrique ne se contente plus de digérer les matières ali-

Digitized by Google

mentaires introduites dans l'estomac, il digère l'estomac lui-même, ainsi que les organes voisins, comme le foie par exemple, parce qu'il n'y a plus de barrière à son action.

Ceci rappelle l'anecdote qu'on raconte de Newton. Quelqu'un était venu le trouver pour lui dire qu'il avait découvert un dissolvant universel : et dans quoi le mettez-vous donc, lui demanda Newton, puisqu'il dissout toutes les substances connues? — Ne pourrait-on point dire la même chose du suc gastrique? Il semble, en effet, que l'estomac étant destiné à dissoudre tous les tissus animaux à l'aide du suc gastrique qu'il produit, devrait aussi se dissoudre lui-même. C'est bien là ce qui se produit, comme nous venons de le dire, lorsqu'on fait entrer artificiellement l'estomac en digestion après la mort. Mais pendant la vie, il est évident qu'il n'en est point ainsi, car alors l'animal ne tarderait pas à périr en se dissolvant lui-même tout entier dans son suc gastrique.

Mais de ce que l'estomac n'est point digéré par le suc gastrique pendant la vie, il n'en résulte point du tout que ce résultat tienne à ce qu'il est alors vivant. On ne saurait trop se garder de faire ainsi intervenir dans les phénomènes une force vitale mystérieuse, qui n'est en définitive qu'une hypothèse sans fondement et qui détourne l'esprit des recherches fécondes, parce qu'elle sert de réponse à tout.

Si l'estomac n'est point digéré pendant la vie, c'est tout simplement parce qu'il est protégé par un épithélium toujours maintenu dans un état particulier d'excitation et constamment baigné de liquides qui empêchent le contact immédiat du suc gastrique. Mais une substance organisée n'est point incapable d'être digérée par cela seul qu'elle est vivante. Sans doute, si nous mettions notre main dans l'estomac d'un animal, elle ne serait point digérée parce qu'elle est protégée par un épithélium très-dur, de nature demi-cornée, et qui résiste à l'absorption. Mais les animaux qui ont un épithélium plus faible ne sont pas dans le même cas; une grenouille, une anguille, seraient très-bien digérées toutes vivantes par le suc gastrique. M. Cl. Bernard l'a prouvé notamment en introduisant le train postérieur d'une grenouille dans l'estomac d'un chien auquel on avait pratiqué une fistule stomacale à cet effet; la grenouille était attachée contre le ventre du chien de manière à ne pouvoir s'échapper, et, au bout d'un certain temps, on constata que les membres postérieurs étaient complétement dissous, bien que le train antérieur n'eût point cessé de vivre.

Il se produit encore dans l'intestin d'autres liquides que la bile et le suc pancréatique. Après ces deux sécrétions, nous devons mentionner un liquide appelé proprement liquide intestinal. On trouve dans le duodénum de petites glandes nommées glandes de Brunner, du nom de celui qui les découvrit, et que l'on appelle quelquefois aussi *pancréas secondaires*, parce que l'on suppose que leur sécrétion est analogue au suc pancréatique.

Brunner, dans des expériences devenues célèbres, essaya de faire hypertrophier ces glandes, qu'il supposait analogues au pancréas, en arrachant le pancréas lui-même. C'est, en effet, une loi physiologique maintenant bien établie, que, quand les organes sont nécessaires à la vie, la suppression d'un organe amène un développement exceptionnel, une hypertrophie des organes similaires, qui doivent désormais remplir seuls les fonctions qu'accomplissait l'organe enlevé. L'ablation d'un rein, par exemple, amène une hypertrophie de l'autre rein, mais sans exercer aucune influence sur les autres glandes. Dans d'autres cas, au contraire, il y a une sorte de suppléance, de vicariat des organes les uns par rapport aux autres, de telle sorte que l'organe qui, à l'état normal, remplit une certaine fonction, venant à être supprimé, cette fonction est accomplie exceptionnellement par d'autres organes qui n'y prenaient point part, ou qui n'y prenaient qu'une part très-minime dans l'état naturel des choses.

Les expériences de Brunner ne réussirent point. Il ne pouvait enlever que la moitié seulement du pancréas, et il savait très-bien lui-même ce qu'il en était à cet égard. Quant à la seconde moitié, son ablation ne peut être obtenue qu'en produisant des désordres organiques extrêmement graves qui entraînent rapidement la mort de l'animal. Du reste, on sait très-bien maintenant que le liquide sécrété par les glandes de Brunner, et qu'on en a extrait directement, n'a pas du tout les propriétés du suc pancréatique. C'est simplement un liquide muqueux, et il en est de même de la sécrétion des glandes en grappe que l'on trouve aussi le long du canal intestinal.

Certains liquides organiques, certaines sécrétions, ont une réaction constante; ainsi la salive est toujours alcaline, le suc gastrique toujours acide. Ces liquides ne se produisent pas d'une manière continue, mais quand ils se produisent leur réaction est toujours celle-là. D'autres sécrétions, au contraire, ont une réaction variable suivant certaines circonstances; telles sont, par exemple, l'urine, la sueur qui est acide chez l'homme et alcaline chez le cheval, la bile, etc.

Dans l'intestin grêle, la réaction est acide chez les carnivores qui ont une alimentation dans laquelle prédominent beaucoup les matières azotées; elle est alcaline, au contraire, chez les herbivores, qui se nourrissent en très-grande partie d'aliments non azotés et surtout de matières herbacées. Il ne faudrait pas croire, du reste, que ces différences tiennent à l'espèce des animaux ou à leur place dans l'échelle zoologique, elles dépendent entièrement de l'alimentation à laquelle est soumis l'animal expérimenté, car lorsque l'on change cette alimentation, on change du même coup la nature de la réaction des liquides intestinaux.

La réaction de l'urine est en corrélation avec celle des liquides de l'intestin grêle, de telle sorte que l'une de ces réactions indique la nature de l'autre. On peut donc examiner la réaction des urines, ce qui est toujours facile. On voit ainsi qu'un lapin, qui a d'ordinaire l'urine alcaline quand il se nourrit de matières vertes à la manière des herbivores, peut sécréter une urine acide dans des conditions différentes. Cela arrive lorsqu'il a mangé des matières très-azotées comme celles qui forment la nourriture normale des carnivores, de la viande bouillie par exemple, ou aussi des grains de blé ou d'avoine, car le blé et l'avoine contienne une assez grande quantité de matières azotées et notamment beaucoup de gluten. Cette acidité, qui se produit ainsi dans des circonstances particulières, ne provient pas d'une sécrétion spéciale, mais simplement des réactions qui s'opèrent alors au milieu de la masse alimentaire.

Dans le cæcum et dans le gros intestin, la réaction n'est plus la même que dans l'intestin grêle. Ce changement de réaction, que subissent les matières intestinales en entrant dans le cæcum, a même été invoqué autrefois à l'appui de certaines idées très-erronées sur la digestion. En effet, on avait voulu considérer le cæcum comme une sorte de second estomac qui eût été complet comme le premier, possédant

Digitized by Google

ses glandes spéciales et sa sécrétion acide particulière.

MM. Prévost et Leroyer avaient montré, dans des expériences faites sur des lapins, que le liquide du cæcum avait une réaction acide, tandis que les liquides de l'intestin grêle sont alcalins chez ces animaux, comme nous venons de le dire. On partit de là pour conclure qu'il se produisait dans le cæcum une seconde sécrétion du suc gastrique. Mais on constata ensuite que les choses se passaient d'une manière précisément inverse chez le chien, lorsqu'il était soumis à son alimentation ordinaire ou normale, c'est-à-dire à une alimentation carnivore, comprenant en grande majorité des substances azotées. Chez le chien, en effet, l'intestin grêle présente, dans ces circonstances, une réaction acide, tandis que les matières extraites du cæcum sont très-nettement alcalines.

Il ne se produit donc pas dans le cæcum une sécrétion spéciale agissant sur les matières sorties de l'intestin grêle avec une réaction alcaline. Il y a là simplement changement de réaction, soit dans un sens, soit dans l'autre. Lorsque la réaction est alcaline dans l'intestin grêle, elle devient acide dans le cæcum et *vice versa*. On sait aujourd'hui à quoi s'en tenir sur la cause de cette interversion des réactions dans le cæcum. C'est, en effet, dans la cavité formée par ce viscère qu'a lieu la décomposition des matières alimentaires qui ont échappé à l'action des sucs digestifs. Mais cette décomposition n'est, à aucun point de vue, une digestion véritable. Il se produit simplement là une fermentation putride, telle qu'elle se produirait à l'extérieur au sein de matières organiques exposées à la seule influence de conditions analogues de température et d'humidité.

Lorsque les matières alimentaires non digérées, ainsi accumulées dans le cæcum, sont surtout des matières amylacées ou des matières grasses, il se produit une fermentation lactique avec formation d'acide lactique et dédoublement des matières grasses en glycérine et acides gras, comme l'acide butyrique par exemple. Sous cette influence la réaction des matières alimentaires contenues dans le cæcum doit donc devenir acide, et c'est ce qui arrive, par exemple, chez le lapin soumis à son alimentation normale, l'alimentation herbivore, ainsi que l'avaient observé MM. Prévost et Leroyer. C'est surtout chez les herbivores que les matières amylacées ou sucrées dominent dans l'alimentation, et c'est chez eux, par conséquent, que devra se produire la fermentation lactique dont nous venons de parler et qui rend acides toutes les matières contenues dans le cæcum. Or, nous savons que ce sont précisément ces animaux qui présentent une réaction alcaline dans les urines et dans les liquides de l'intestin grêle.

Voilà le premier point élucidé, le second va l'être de même. En effet, les matières azotées dégagent, en se décomposant, de l'ammoniaque. Lorsque ce sont ces matières qui prédominent dans le cæcum, il s'y produit donc de l'ammoniaque qui rend alcaline la réaction des matières contenues dans ce viscère. C'est ce que l'on a observé chez le chien soumis à l'alimentation carnivore qui lui est habituelle. En prenant la question d'une manière générale, chez quels animaux devrons-nous trouver la majorité des substances azotées dans le cæcum? Chez les carnivores évidemment puisque ces animaux se nourrissent presque exclusivement de matières de ce genre. C'est donc chez eux surtout que se produira dans le cæcum le dégagement d'ammoniaque rendant alcaline la réaction des matières qui s'y trouvent, et, d'un autre côté, nous avons vu que, précisément par suite de la nature de leur alimentation, leurs urines et les liquides de leur intestin grêle étaient toujours acides.

Ainsi disparaît cette sorte de sensation spéciale que certains physiologistes avaient eu la singulière idée d'attribuer à l'intestin, en imaginant que ce viscère pouvait apprécier quelle nature de réaction il convenait de produire pour compléter la digestion des matières alimentaires.

Nous passons maintenant aux sécrétions excrémentitielles, ou excrétions qui sont simplement destinées à éliminer du sang certaines substances devenues impropres à la vie sans rien y ajouter de spécial, comme font les sécrétions excrémentitielles. Les glandes excrétoires sont donc, en quelque sorte, des organes de dépuration.

Les principales sécrétions que nous devons citer sont surtout l'*urine* extraite par les reins, la *sueur* provenant des glandes spéciales disséminées dans l'intérieur de la peau, la *bile* qui sort du foie. A ces divers organes excrétoires, il faut ajouter le poumon, que l'on n'est peut-être pas très-habitué à considérer sous ce point de vue, mais qui cependant remplit exactement les mêmes fonctions que tous les organes que nous venons de citer, avec cette seule différence qu'il excrète des matières gazeuses au lieu d'excréter des matières liquides; c'est même là une voie d'élimination très-importante.

Les excrétions se produisent toujours d'une manière constante, et c'est même là le caractère différentiel qui permet de les distinguer à première vue des sécrétions proprement dites, lesquelles ne fonctionnent qu'à certains moments et dans des circonstances déterminées, par exemple sous l'influences des matières nutritives. Mais si les excrétions sont continues, ce n'est pas à dire que leur intensité soit invariable; elle varie, au contraire, dans les limites assez étendues, suivant l'état général de l'organisme et l'activité plus ou moins grande des phénomènes physico-chimiques qui s'y passent. Ainsi, toutes choses égales d'ailleurs, la quantité d'urine produite par le même animal est bien plus considérable pendant l'état de digestion que pendant l'état d'abstinence.

Le mécanisme des excrétions est, du reste, au fond le même que celui des sécrétions proprement dites. L'excrétion exige d'abord pour se produire une certaine pression dans les vaisseaux sanguins de la glande. Mais cela ne suffit pas. Il faut aussi l'intervention d'une influence particulière de symptômes nerveux sur laquelle nous nous étendrons plus bas.

Enfin, outre ces deux premières conditions, certains phénomènes chimiques sont encore nécessaires. Il est évident, par exemple, que l'excrétion urinaire consistant à séparer du sang — qui est alcalin — un liquide très-nettement acide, il faut bien qu'il se passe dans les glandes rénales des phénomènes chimiques particuliers expliquant ce changement de réaction. La nature de ces phénomènes chimiques est, du reste, parfaitement inconnue, bien que personne n'en conteste l'existence. Ce que nous disons de l'urine, nous pouvons le dire également de la sueur, car les glandes sudoripares extrayent aussi du sang un liquide jouissant d'une réaction déterminée, laquelle est bien loin d'être toujours celle du sang lui-même. Là aussi il faut bien admettre qu'il se produit certains phénomènes chimiques particuliers, et ces phénomènes jouent un rôle physiologique très-important, car, chez certains animaux, il suffit de recouvrir la peau de manière à empêcher la production de la sueur pour les faire mourir assez rapidement.

Les poumons, ainsi que nous venons de le dire, sont éga-

Digitized by Google

lement un organe d'excrétion ; ils éliminent de l'eau à l'état de vapeur, de l'acide carbonique, et aussi un peu d'ammoniaque. Il est vrai, sans doute, qu'ils absorbent en même temps l'oxygène ; mais ce n'est point le seul cas dans lequel nous voyons une même membrane servir à la fois à l'absorption et à l'élimination.

Le poumon est l'organe particulier d'absorption des matières gazeuses qui doivent entrer dans l'organisme pour y jouer un rôle physiologique quelconque ; et il n'y a rien d'étonnant à ce qu'il soit en même temps l'organe propre de l'élimination de ces matières, ou des autres matières présentant le même état physique et que l'organisme doit rejeter.

On sait, par exemple, que le gaz acide sulfhydrique, introduit dans le sang par la respiration, est très-rapidement mortel, et cependant personne n'ignore qu'on peut prendre une grande quantité d'eau chargée d'acide sulfhydrique sans en éprouver aucun accident : c'est même un moyen thérapeutique très-employé, car les eaux minérales dites sulfureuses doivent, à la présence de cet acide, leurs vertus curatives. Comment cela peut-il se faire ? et ne semble-t-il pas contradictoire qu'une même substance soit un poison violent quand on l'introduit dans l'organisme par une certaine voie, et qu'elle devienne tout à fait inoffensive quand on la fait entrer par une voie différente ?

On aurait pu supposer, pour expliquer cette apparente contradiction, que l'acide sulfhydrique introduit dans l'estomac s'y décomposait ou se combinait à d'autres substances qui neutralisaient ses propriétés toxiques. Mais une pareille explication n'est pas possible, car l'acide sulfhydrique est également inoffensif lorsqu'on l'injecte directement dans les veines, cas auquel il n'a évidemment pu subir aucune action de la part des substances diverses contenues dans l'estomac.

L'explication véritable se trouve dans les fonctions excrétoires du poumon. L'acide sulfhydrique, injecté directement dans les veines ou absorbé par elle dans le canal intestinal, est transporté avec le sang veineux dans le cœur droit qui le lance aux poumons, et là il s'élimine dans l'atmosphère au travers des minces parois des vésicules pulmonaires, absolument comme il entre dans l'organisme par la même voie lorsqu'on l'introduit dans les poumons par inhalation. Il est facile de mettre en évidence l'exactitude de cette explication. Pour cela on injecte dans les veines d'un chien une certaine quantité d'acide sulfhydrique, et l'on place aussitôt devant l'ouverture de la bouche et des fosses nasales un papier imbibé d'une dissolution d'acétate de plomb : ce papier noircit immédiatement, par suite de la formation d'une certaine quantité de sulfure de plomb, sous l'influence de l'acide sulfhydrique exhalé par l'animal. Ainsi l'acide sulfhydrique peut aussi bien être excrété par les poumons qu'être absorbé par eux.

Ce que nous disons de l'acide sulfhydrique, nous pourrions le dire également pour d'autres substances gazeuses ou susceptibles de se réduire très-facilement en vapeur à la température du corps. Tel est par exemple l'alcool, qui excite le système nerveux et imprime ainsi une plus grande activité aux diverses fonctions organiques, mais sans nourrir le moins du monde l'animal. On croyait autrefois que l'alcool ingéré, soit seul, soit avec les aliments, était décomposé dans l'estomac. Mais cela est complétement inexact. L'alcool introduit dans le sang est bientôt éliminé par les poumons, et il traverse ainsi l'organisme sans avoir éprouvé de décomposition appréciable. Les poumons sont très-sensibles à cette action, et il est facile de la constater, même lorsque la quantité d'alcool absorbé est très-minime. Il suffit en effet d'avaler le contenu d'un petit verre de liqueur pour qu'on puisse mettre en évidence la présence de l'alcool dans l'air expiré.

Nous avons successivement étudié les deux grandes classes de sécrétions externes, les sécrétions accrémentitielles, se produisant à intervalles déterminés, telles que les sécrétions digestives et les sécrétions qui se produisent d'une manière constante par le jeu même de la vie. Mais il y a aussi des sécrétions qui ne sont pas constantes comme les excrétions, — car elles ne se produisent que périodiquement et à intervalles assez éloignés, sous ces influences tout à fait spéciales, — et qui cependant s'accomplissent quelquefois d'une manière continue, pendant un certain temps. Ce sont des sécrétions relatives à la vie de l'espèce.

On ne peut pas considérer ses sécrétions comme des excrétions, car les substances qu'elles produisent n'existaient point toutes formées dans le sang, et par conséquent elles ne proviennent pas de l'élimination des matières devenues impropres à la vie, contenues dans ce liquide ; d'un autre côté, bien que chacune d'elles se caractérise, comme les sécrétions accrémentitielles, par un produit spécial qui ne se forme que dans leur glande, et ne se trouve pas autre part, elles ne s'en distinguent pas moins profondément de ces dernières sécrétions, car elles ne sont aucunement indispensables à la vie de l'individu, et l'on peut les supprimer sans occasionner de désordre organique grave. Ces sécrétions remplissent un rôle tellement particulier qu'il faut les distinguer de toutes les autres, et en faire une catégorie à part dans la classe des sécrétions externes.

Ces sécrétions sont au nombre de trois : d'abord la sécrétion lactée ; puis la production du fluide séminal chez le mâle, et enfin celle de l'œuf chez la femelle, car le testicule et l'ovaire, siéges de ces deux dernières productions, ont été considérés également comme des organes de sécrétion.

On trouve toujours un certain rapport entre le système nerveux qui gouverne toutes ces fonctions et l'activité de ces fonctions elles-mêmes. Ces glandes sécrètent à certains moments, puis rentrent dans le repos et sommeillent pour ainsi dire. Il arrive alors fort souvent que la glande s'atrophie. C'est ainsi que la mamelle disparaît presque complétement quand la sécrétion lactée vient à cesser ; le fond des culs-de-sac glandulaires se résorbe, et il ne reste plus qu'un corps très-mince.

Les testicules s'atrophient aussi chez certains animaux, quand les fonctions de reproduction ne doivent plus s'accomplir chez eux. Ce sont là des faits très-connus des naturalistes, et qui ont été fort bien étudiés. Hunter notamment a observé avec soin la diminution des testicules du moineau pendant la saison froide, époque à laquelle les fonctions de reproduction ne s'accomplissent pas chez ces animaux ; au retour du printemps, le testicule grossit de nouveau, et se développe comme les bourgeons et les feuilles des végétaux.

Des phénomènes d'atrophie périodique du même genre se produisent également chez les animaux à sang froid, et Stannius en a suivi avec soin l'évolution dans ses différentes phases, notamment chez le crapaud, chez lequel ils prennent une grande extension. Chez certains batraciens, en effet, non-seulement les testicules disparaissent pendant l'hiver, mais en outre certains organes nerveux qui président à ces fonctions

Digitized by Google

s'atrophient en même temps, tellement il est vrai que les organes disparaissent quand leurs fonctions cessent de s'accomplir.

Hunter a signalé d'autres faits également très-intéressants, et sur lesquels nous devons nous arrêter un instant. Les mamelles et la sécrétion lactée qu'elles produisent sont, comme on le sait, le caractère distinctif de la classe des mammifères. Mais il y a des oiseaux, particulièrement les colombes et surtout le pigeon, qui sont en quelque sorte des mammifères, car ils produisent une sorte de lait pour nourrir leurs petits dans les premiers instants qui suivent la naissance.

Il est évident que ces oiseaux ne produisent pas le lait dont nous parlons, dans les glandes mammaires, puisqu'ils n'ont pas d'organe de ce genre. Cette sécrétion s'effectue chez eux dans le jabot, c'est-à-dire dans une partie déterminée du corps qui constitue dès lors un organe ayant une fonction spéciale à cet égard. L'analogie des deux phénomènes est, du reste, incontestable. En effet, cette sécrétion lactée si curieuse, correspond très-exactement à la naissance du petit, absolument comme chez les mammifères, et elle se produit également sous des influences nerveuses qui sont les mêmes des deux côtés.

Le jabot du pigeon a la même constitution que celui de tous les autres oiseaux; ses parois se composent d'une couche musculaire reposant sur des tissus conjonctifs et recouverte d'un épithélium muqueux en rapport avec les fonctions digestives du jabot. Chez les pigeons, le mâle et la femelle couvent tous deux les œufs pour les faire éclore, tandis que chez les gallinacés, par exemple, la femelle seule couve.

Quelques jours avant l'éclosion des petits pigeons, le jabot du père et de la mère se modifie; la membrane muqueuse s'hypertrophie; il se forme de longs replis qui creusent profondément l'épithélium et y déterminent un grand nombre de cavités ou culs-de-sac. Sur la membrane muqueuse se developpent des cellules particulières qui forment des papilles, dont les cellules se mûrissant, en quelque sorte, par une évolution successive, tombent alors dans la cavité du jabot; ces cellules contiennent une matière tout à fait comparable à du lait caillé, et dans laquelle on trouve, en effet, de la caséine, une matière grasse analogue au beurre, etc. Ces faits si intéressants justifient les vues des anatomistes qui considèrent les glandes comme des replis formés par les membranes muqueuses en rentrant sur elles-mêmes pour constituer de petits culs-de-sac qui se ramifient ensuite en un très-grand nombre de divisions.

La sécrétion lactée dont nous parlons se produit donc dans une espèce de glande improvisée. Quand le petit pigeon sort de l'œuf, ses parents le nourrissent pendant plusieurs jours avec cette sorte de lait caillé qui se forme dans leur jabot et qui remplace les larves ou les vers, que la plupart des autres oiseaux donnent à manger à leurs petits. Ils dégorgent simplement ce lait par le bec et le déposent directement dans le bec du petit. Cinq ou six jours après l'éclosion des œufs, la sécrétion lactée du jabot diminue et les pigeons commencent à donner des graines à leurs petits. Puis le jabot revient peu à peu à son aspect ordinaire et la lactation cesse de s'effectuer. C'était donc bien là une sécrétion spécialement destinée à nourrir les petits.

Les sécrétions qui ont leur siége dans les organes génitaux des deux sexes nous présentent des phénomènes tout à fait analogues à ceux que nous venons de suivre dans le jabot des pigeons en lactation. Il se forme aussi des cellules, et la seule différence qu'elles présentent avec celles que nous venons d'étudier dans le jabot du pigeon, c'est qu'au lieu de contenir comme celles-ci un produit chimique spécial, elles renferment des animacules qu'il est peut-être trop hardi de considérer comme de véritables animaux, mais qui au moins sont certainement animés et qui remplissent des fonctions d'une importance capitale, puisqu'ils transmettent la vie à de nouveaux êtres et la rendent aussi éternelle malgré la périssabilité et la courte et fragile existence des individus.

Quant aux diverses phases et au mécanisme de la sécrétion, elles sont exactement les mêmes que dans les cas précédents. Dans le jabot du pigeon, par exemple, il se forme sur une membrane muqueuse et dans un de ses replis une cellule où l'on ne distingue rien d'abord, puis cette cellule grossit, et elle est poussée vers l'extérieur par une autre cellule du même genre qui prend naissance derrière elle; enfin on finit par y distinguer de la caséine, du beurre, etc., c'est-à-dire des produits déterminés et définis. La cellule se crève alors, tombe, et va constituer un liquide particulier. Il en est absolument de même pour la sécrétion du testicule et de l'ovaire. Il se forme aussi une cellule qui grossit de plus en plus et dans laquelle on finit par distinguer, soit des spermatozoaires s'il s'agit du testicule, soit un ovule s'il s'agit de l'ovaire, puis la cellule crève et les spermatozoaires tombent alors dans un liquide qui devient ainsi le fluide séminal et dont ils constituent la partie essentielle.

Enfin, on doit aussi considérer l'épiderme qui recouvre la peau comme un produit de sécrétion. Il se produit là, en effet, des cellules qui ont dans cette circonstance un usage purement physique de protection contre les influences extérieures et qui peuvent ainsi avoir pour but, sur certaines muqueuses, par exemple, de lubrifier les organes pour en faciliter le glissement. Il y a des épithéliums vibratils, les poils, etc., qu'on peut aussi ranger dans les sécrétions à usage physique. Mais quoique l'usage et la nature de toutes ces sécrétions soient très-différents, le mode de production est toujours le même, qu'il s'agisse de matières chimiques, de spermatozoaires ou de cellules épidermiques. Au fond de toutes les sécrétions, il y a donc un phénomène évolutif essentiellement organique ou physiologique; mais la sécrétion elle-même, ou plutôt son produit, son expression extérieure est toujours, soit physique, soit chimique.

Nous passons maintenant aux *sécrétions internes* qui ont un caractère tout différent de celles que nous avons examinées jusqu'ici, c'est-à-dire des sécrétions externes. Les sécrétions internes, au lieu d'extraire certains principes du sang, comme font les autres, ont au contraire pour fonction de former ce liquide. Nous considérons, en effet, le sang, la lymphe et tout ce qui constitue ce que nous avons appelé le milieu intérieur organique comme un produit de sécrétion; nous avons toujours professé cette idée, et, comme on va le voir, il est impossible de s'expliquer autrement la composition du sang.

Si l'on voulait expliquer la constitution du sang par les seuls phénomènes de digestion, il faudrait alors regarder le sang comme une sorte de dissolution des aliments. Mais dans cet ordre d'idées, il faudrait nécessairement admettre que le sang des herbivores contient beaucoup moins de matières azotées que celui des carnivores, car leurs aliments comprennent infiniment moins de matières de ce genre que les aliments de ces derniers; il faudrait aussi admettre que

Digitized by Google

chez le même animal la constitution du sang varie avec la nature et la quantité des aliments. Enfin il faudrait encore qu'on ne trouve pas dans le sang d'autres principes organiques immédiats que ceux qui existaient dans les aliments.

Ces idées sont encore admises aujourd'hui par un certain nombre de savants, d'après cette idée que les végétaux seuls auraient le privilége de former des principes organiques immédiats, tandis que les animaux seraient chargés de les détruire pour les restituer au monde minéral. On voudrait ainsi établir entre les deux règnes organiques une étroite et parfaite corrélation qui serait la conséquence de l'harmonie générale du monde et de la circulation de la matière.

Toutes ces idées sont vraies en général, mais fausses en particulier. Il existe sans doute un rapport entre les animaux et les végétaux, et même entre les règnes organiques et les minéraux; mais les éléments de ce rapport qui maintient l'équilibre général du monde, est beaucoup plus complexe qu'on ne l'imagine, et de ce que le rapport général existe, ce n'est pas une raison pour établir ainsi un parallélisme détaillé et artificiel.

Les phénomènes de digestion sont tout à fait impuissants à rendre compte de la constitution du sang, constitution qui reste à peu près invariable, malgré les variations considérables que peut subir l'alimentation. Parmi les éléments du sang, il y a d'abord des globules qu'on ne peut évidemment avoir la prétention de trouver dans les aliments, car ceux que l'animal a pu ingérer ont été immédiatement dissous par le suc gastrique, comme les chairs elles-mêmes. L'origine des globules du sang est donc très-certainement une question d'organogénie, et non une question chimique.

Les aliments ne rendent pas compte d'une manière plus heureuse des autres éléments qui se trouvent dans le sang; car la fibrine, l'albumine, la caséine et les autres matières azotées contenues dans les aliments, sont transformées par la digestion et, sous l'influence des sucs intestinaux, passent à l'état de peptone, matière azotée assez difficile à définir exactement, et qui n'a que des caractères négatifs. Si les matières azotées renfermées dans le sang provenaient directement des aliments, on ne devrait donc y trouver que de la peptone, et vous savez qu'il est loin d'en être ainsi. Le sang contient de l'albumine, de la fibrine, et encore d'autres matières azotées; il faut bien admettre dès lors que ces matières sont des produits de sécrétion qui se font aux dépens des matériaux fournis par les aliments.

Les chimistes soutenaient que les végétaux seuls avaient le privilége de former des principes organiques immédiats, et ils prétendaient naturellement aussi que les aliments absorbés par les animaux devaient rendre compte de toute la graisse qu'on trouvait dans leurs tissus. Il fallait donc que la botte de foin mangée par la vache contînt exactement tout le beurre que renfermait son lait : à quoi le mathématicien Poinsot, laissant du reste de côté la question scientifique elle-même, répondait spirituellement qu'au moins la vache servait à produire du beurre frais. Aujourd'hui cette opinion sur la graisse a été abandonnée par les auteurs qui la soutenaient. En effet, M. Dumas et M. Boussingault ont publié des travaux dans lesquels ils montrent que l'abeille transforme le sucre pour en faire de la cire.

En ce qui concerne le sucre, l'ancienne théorie a résisté plus longtemps; mais aujourd'hui, elle est également abandonnée sur ce point comme sur tous les autres. Le diabète sucré, caractérisé par la présence d'une grande quantité de sucre dans les urines, avait d'abord été attribué à une cause pathologique spéciale, qui aurait amené une production de sucre tout à fait anormale; puis on supposa que ce sucre provenait tout simplement des aliments et que, par suite de l'état morbide, il n'avait pu être décomposé par la digestion ainsi que cela a lieu dans l'état normal. Enfin M. Claude Bernard montra que le diabète pouvait se produire chez un animal dont l'alimentation ne contenait pas du tout de sucre, ce qui prouvait péremptoirement qu'il fallait chercher autre part l'origine du sucre qu'on trouvait dans les urines. Ces expériences sur la production du sucre nous ont fourni les plus vives lumières sur les sécrétions internes, et nous y reviendrons tout à l'heure.

Il y a enfin, dans le sang, des substances que ni les animaux, ni les végétaux ne peuvent produire : ce sont les substances minérales. Comme l'a dit Lavoisier, rien ne se perd, rien ne se crée dans la nature, et le poids total de la terre ne change pas. Tout ce qui se produit dans les êtres organisés, ce sont simplement des combinaisons nouvelles des éléments minéraux ou des corps simples; mais il faut bien que ces corps simples eux-mêmes soient tirés du dehors, c'est-à-dire empruntés à la nature minérale.

On avait bien supposé autrefois, sous l'influence d'idées vitalistes fausses, que l'œuf pouvait former lui-même certains corps simples, du soufre, par exemple. Mais ce serait là une chose complétement impossible, car le soufre étant un corps simple, c'est-à-dire ne contenant en lui-même qu'une matière identique, le soufre, on ne peut arriver à le former par aucun groupement d'autres substances; la transmutation des corps simples les uns dans les autres est une chimère qu'on ne poursuit plus depuis les alchimistes. Les animaux ne peuvent qu'arranger d'une manière particulière les corps qui existaient déjà auparavant, et quand nous disons qu'ils forment de la fibrine, de l'albumine, etc., il est évident que nous parlons simplement de la réunion des éléments qui entrent dans la constitution de ces substances, mais non de la production de ces éléments eux-mêmes.

Les matières minérales qu'on rencontre dans le sang s'y trouvent généralement à l'état de combinaison, soit entre elles, soit avec des matières organiques, sauf l'oxygène qui s'y trouve à l'état de liberté. Leurs propriétés sont, du reste, les mêmes que dans le monde minéral.

Ce serait maintenant le moment de déterminer quel est le rôle et l'origine des sécrétions internes. Ces sécrétions se forment évidemment dans des glandes, car sans glandes on ne concevrait pas de sécrétion. Les glandes de sécrétion internes sont surtout les glandes thyroïdes, les capsules surrénales, les glandes sanguines, la rate, et enfin, le foie, qui est une glande double formée par la réunion de deux glandes, l'une à sécrétion externe produisant la bile, l'autre à sécrétion interne produisant une matière glycogène qui se transforme en sucre. Les glandes à sécrétion interne n'ont pas de conduits excréteurs, et les vaisseaux veineux qui les parcourent et qui en sortent reçoivent directement le produit de la sécrétion.

Jetons un coup d'œil sur l'ensemble des sécrétions, en nous attachant spécialement aux excrétions internes.

Les excrétions, comme nous l'avons dit, ont spécialement pour but d'épurer le sang. Les sécrétions relatives à la vie de l'espèce empruntent au sang sans rien lui rendre en échange, et lui sont, par conséquent, complétement inutiles. Enfin les

Digitized by Google

sécrétions intestinales empruntent sans doute au sang comme les précédentes, mais lui rendent aussi une grande partie de ce qu'elles lui ont pris. L'abondance extrême de ces sécrétions rendait, du reste, ce retour indispensable, car on a calculé que, pendant vingt-quatre heures, il se sécrétait ainsi une quantité de liquide qui ne représentait pas moins que le dixième du poids total du corps. Il pleut donc, pour ainsi dire, des liquides de sécrétion dans le canal intestinal où ils sont absorbés par les veines et les chylifères; mais outre qu'on ne pourrait expliquer ainsi que la formation du blastème ou même seulement de la partie aqueuse du sang, ces liquides proviennent en définitive du sang lui-même et, par suite, n'éclairent pas du tout le problème de son origine.

Il faut bien cependant que le sang provienne de quelque chose, car rien ne vient de rien, pas plus dans l'organisme vivant que dans la nature brute :

Ex nihilo nihil, in nihilum nil posse reverti,

ainsi que le disait déjà le poëte latin bien longtemps avant que Lavoisier eût posé son fameux axiome. Une force quelconque n'est, en définitive, qu'une autre force transformée, et un corps ne peut être également qu'un autre corps modifié ou transformé : le sang ne saurait échapper à cette loi universelle. Le sang est, en effet, un produit de sécrétion. Il se forme dans des glandes particulières sans conduit excréteur, et qu'on appelle quelquefois glandes sanguines. Cette idée est bien vieille dans la science, car Galien l'émettait déjà, et il supposait que le sang se formait dans le foie. Cette manière de voir a encore été soutenue depuis. Mais il ne suffit pas seulement d'émettre des idées, il faut surtout essayer de les prouver.

Il y a, comme nous l'avons dit, un certain nombre de glandes qui contribuent à former le sang; ce sont surtout la rate, les corps thyroïdes, les capsules surrénales, etc. Toutes ces questions sont, du reste, restées fort obscures jusqu'à ce jour; elles sont, en effet, très-difficiles à étudier et mêlées à des phénomènes chimiques tout particuliers que la chimie est encore bien impuissante à étudier. Le procédé qu'on suit généralement dans ces recherches relatives à l'origine du sang, c'est d'analyser successivement le sang à l'entrée et à la sortie des glandes qu'on suppose participer à sa formation pour constater les modifications de composition qu'il y a subies.

Par exemple, on a analysé comparativement le sang qui entre dans la rate et celui qui en sort. On a trouvé ainsi que ce dernier contenait plus de globules blancs que l'autre, et l'on en a conclu que la rate était le siége de la production des globules sanguins. Mais il faudrait admettre, pour accepter cette opinion, que les globules blancs deviennent ensuite des globules rouges, ce qui n'est pas démontré, tant s'en faut, de sorte qu'on ne doit encore considérer toutes ces théories que comme de pures hypothèses.

Ce qu'il y a seulement de certain, c'est qu'on peut enlever la rate à un animal sans qu'il paraisse en souffrir; mais il ne faudrait pas se hâter de conclure de ce dernier fait que la rate ne sert à rien; on doit, en général, être extrêmement réservé pour tirer des conclusions de ce genre, car la méthode ordinaire d'investigation physiologique exposerait à bien des méprises sous ce rapport. En effet, le procédé de recherches ordinaires des physiologistes, c'est de supprimer un organe pour voir quels sont les troubles qui résultent de son ablation et de déduire de là les fonctions qu'il remplissait normalement dans l'organisme. En un mot, nous procédons par analyse et par destruction dans l'étude des êtres vivants, puisque nous ne pouvons pas procéder par synthèse.

Mais cette méthode, qui nous est forcément imposée dans presque tous les cas, pourrait conduire, dans certaines circonstances, à de complètes méprises, si l'on attachait une trop grande importance aux résultats négatifs qu'elle donne quelquefois. Ainsi, de ce qu'on peut supprimer un organe sans faire mourir l'animal, ou même sans troubler chez lui d'une manière sérieuse les phénomènes de la vie, on n'est pas en droit d'en conclure que cet organe est inutile et ne remplit aucune fonction dans le corps vivant.

Il y a, en effet, une suppléance de certains organes, les uns par rapport aux autres, un *vicariat*, comme on disait autrefois, dont le résultat est que les fonctions remplies normalement par l'organe supprimé sont dévolues exceptionnellement à des organes qui n'y prenaient aucune part dans l'état ordinaire des choses ou qui n'y prenaient qu'une part minime. On comprend, dès lors, que l'ablation de l'organe n'entraîne pas de troubles organiques trop graves. Par exemple, cette sorte de suppléance ou de vicariat dont nous parlons suffit, au moins pendant quelque temps, pour assurer l'accomplissement des fonctions normalement dévolues aux reins. L'urée, ainsi que nous l'avons vu plus haut, s'éliminant alors par le canal intestinal, il est bien clair pourtant que si cette suppléance pouvait se faire sans troubles, ce serait commettre une erreur grossière que d'en conclure que les reins ne servent à rien. Nous devons donc nous tenir toujours en défiance contre des résultats de ce genre.

Nous ne sommes pas beaucoup plus instruits sur le rôle des corps thyroïdes que sur celui de la rate; dans un travail fait tout récemment, on soutient qu'il en sort des cellules blanchâtres qui voyageraient ensuite dans le sang en y subissant peut-être certaines transformations. Mais ces faits ne sont pas encore assez bien constatés pour qu'on puisse y voir autre chose que des hypothèses plus ou moins plausibles.

Nous pouvons en dire autant de toutes les recherches qui ont été exécutées sur les fonctions des capsules surrénales.

Parmi toutes les fonctions hématopoétiques, c'est-à-dire qui contribuent à la formation du sang, il n'y en a donc encore qu'une seule de bien connue, c'est la fonction glycogénique du foie.

Nous avons déjà dit que le foie produisait également une matière excrémentitielle, la bile, dont nous avons déjà parlé plus haut, et sur laquelle il est inutile de revenir. Cette glande a donc deux fonctions bien établies, deux sécrétions distinctes, une sécrétion interne, celle de la matière glycogène, et une sécrétion externe excrémentitielle, celle de la bile.

En partant de ce fait, qu'il a découvert, M. Claude Bernard avait été conduit, par de pures considérations physiologiques, à considérer que le foie se composait de deux glandes distinctes répondant chacune à l'une des deux sécrétions qu'il produisait. Le foie se divise en lobules de matière cellulaire entourés par des vaisseaux sanguins qui ressemblent aux bras d'une rivière se glissant entre des îlôts accumulés en grand nombre comme pour former un archipel. D'un côté, ces vaisseaux sanguins communiquent avec la veine porte qui leur amène le sang; de l'autre, ils sont en rapport avec les veines sushépatiques qui l'emportent lorsqu'il a ainsi circulé dans le foie. Dans l'intérieur des lobules s'insinuent de très-petits vaisseaux capillaires. Enfin, comme l'a déjà constaté il y a longtemps M. Claude Bernard, on trouve, en outre, cer-

Digitized by Google

tains vaisseaux qui font communiquer directement la veine porte avec les veines sushépatiques et permettent ainsi au

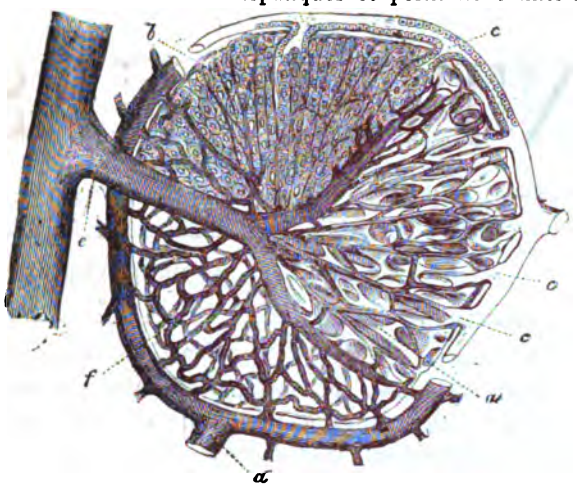


FIG. 17. — Schème d'un lobule du foie, d'après Leydig.

a. Espace caverneux du réseau conjonctif après qu'on a fait disparaître les cellules. — *b*. Une portion de cet espace remplie par les cellules du foie : en *c*, les origines du conduit hépatique communiquent ouvertement avec les cavités. — *d*. Veine interlobulaire (ramification ultime de la veine porte). — *e*. Veine intralobulaire (racines de la veine hépatique). — *f*. Réseau capillaire lobulaire.

sang de passer directement de la première dans les secondes sans circuler à travers tout le réseau capillaire du foie.

Les anatomistes étaient autrefois fort embarrassés pour trouver au milieu de tout cela la terminaison des conduits biliaires. On n'a pas encore aujourd'hui résolu complétement cette question dans les animaux supérieurs.

On avait supposé que c'était dans le foie que se formaient les globules du sang, car la sécrétion de ces globules a déjà été attribuée successivement à presque toutes les glandes sanguines sans qu'il y ait jusqu'ici beaucoup plus de raison de se prononcer pour l'une que pour l'autre. Mais on n'a encore rien pu prouver de positif ni pour ni contre cette hypothèse, parce qu'il n'est pas possible, chez les animaux supérieurs, de pratiquer l'ablation du foie, opération qui permettrait sans doute de juger la question si elle pouvait être faite dans de bonnes conditions.

Cependant Moleschott a pratiqué l'extirpation du foie sur des grenouilles qui peuvent survivre plusieurs jours à cette mutilation si grave, et, en opérant à la fois sur une centaine de grenouilles, il put réunir une masse de sang assez considérable pour être étudiée facilement. Il constata ainsi que le sang obtenu dans ces conditions contenait beaucoup plus de bile que le sang normal. C'est donc là une expérience tout à fait comparable à la néphrotomie, et qui établit une fois de plus que la bile a bien le caractère d'une excrétion. Quant aux globules du sang, la courte durée de l'expérience, limitée à celle de la survie des grenouilles après l'opération, ne permettait pas de rien apprendre d'important à ce sujet.

Quelles sont donc les fonctions hématopoétiques certainement dévolues au foie ?

On a d'abord constaté qu'en dissolvant la glande dans l'eau, comme on l'a fait pour les diverses glandes digestives intestinales, on obtenait une grande quantité d'albumine. Cette expérience pourrait faire supposer que l'albumine se produit dans le foie. Mais il n'a pas été possible jusqu'ici de suivre régulièrement les différentes phases de cette formation.

En ce qui concerne le sucre, au contraire, on connaît parfaitement le mécanisme de la sécrétion depuis les travaux de M. Claude Bernard sur ce sujet. Comme dans les autres sécrétions dont nous avons parlé jusqu'ici, on voit toujours une cellule, et c'est à l'intérieur de cette cellule que prend naissance le produit de la sécrétion. Ce produit c'est ici de l'amidon, c'est-à-dire une matière glycogène, insoluble dans l'eau, qui se transforme ensuite en une substance soluble, la glycose, sous l'influence de l'humidité, de la chaleur et du ferment diastasique qui se trouvent réunis dans le sang du foie. Mais cette transformation s'opère d'une manière purement chimique et par le jeu de forces exclusivement chimiques, qui peuvent, dès lors, agir partout aussi bien que dans le foie quand ils trouvent des conditions convenables.

Il est très-important, ici surtout, de distinguer exactement le phénomène vital proprement dit du phénomène chimique. On a, en effet, discuté les idées de M. Claude Bernard sur la sécrétion du sucre, en lui objectant qu'elles accusaient une production de sucre plus abondante après la mort que pendant la vie. Chose impossible, disait-on, puisque la production du sucre est une sécrétion particulière, et que toute sécrétion est évidemment un phénomène vital.

Sans doute la sécrétion est un phénomène vital, mais la sécrétion proprement dite et non les diverses transformations chimiques que peut subir ensuite le produit sécrété. Or, dans la fonction glycogénique du foie, le phénomène sécrétoire, et par conséquent le phénomène vital, c'est exclusivement la production de la cellule amidonnée. Tout ce qui vient ensuite peut également s'accomplir partout où sont réunies les conditions convenables pour cela, et avec une activité plus ou moins grande, suivant que les conditions sont plus ou moins favorables. La transformation de l'amidon insoluble en sucre soluble se fait, du reste, aussi bien hors de l'organisme qu'à son intérieur. Qu'y a-t-il, dès lors, d'étonnant à ce que cette transformation soit plus active dans certains cas après la mort qu'elle ne l'était pendant la vie, si les conditions physico-chimiques réunies dans le cadavre sont plus favorables à cette transformation que celles qui existaient dans le corps vivant ?

Mais ce qui ne peut plus se produire après la mort, ce sont les cellules amidonnées sécrétées par le tissu. Ce sont ces deux choses bien distinctes que l'on a confondues, et la confusion vient de ce que l'on ne faisait pas assez attention à cette expérience de M. Claude Bernard, à savoir qu'en lavant le foie après la mort on enlevait le sucre soluble qui s'y trouvait, mais qu'on laissait l'amidon insoluble qui y restait encore en quantité fort notable et qui se transformait ensuite en sucre. Aussi, en laissant s'écouler après la mort un temps suffisant pour que tout l'amidon contenu dans le foie puisse se transformer en sucre soluble, et en lavant alors le foie, on ne voit plus recommencer cette apparente sécrétion *post mortem*.

Nous ne pourrons jamais pénétrer ce mystère primitif de la vie, et il est évident que la nature même des propriétés vitales nous restera toujours inconnue; mais les conditions physico-chimiques dans lesquelles se manifestent ces propriétés nous sont accessibles, et le progrès de la science physiologique consistera toujours à réduire de plus en plus tous les phénomènes vitaux aux conditions physico-chimiques de leur manifestation.

FIN DU COURS.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE NUMÉRO 4 23 DÉCEMBRE 1865

SOIRÉES SCIENTIFIQUES DE LA SORBONNE.
HISTOIRE DES SCIENCES.

CONFÉRENCE DE M. BERTRAND
(de l'Institut).

Clairault et la mesure de la terre.

La réouverture des soirées scientifiques de la Sorbonne s'est faite, il y a huit jours, par une causerie de M. Bertrand sur Clairault. Bien que la séance dût forcément être privée du charme qu'ont toujours, pour les gens du monde, les expériences éclatantes de la physique et de la chimie, et les exhibitions d'instruments ou de pièces d'histoire naturelle, le nom du conférencier avait suffi pour attirer un grand concours d'auditeurs. M. Bertrand excelle, en effet, dans la biographie scientifique, et il sait habilement mélanger la vie publique et privée de son héros avec l'histoire des grandes controverses scientifiques auxquelles il fut mêlé. Rendre la science attrayante et accessible pour tous, tel fut le programme des soirées de la Sorbonne. M. Bertrand est un de ceux qui ont le mieux réalisé les deux parties essentielles de ce programme, en déguisant l'austérité de la science par les agréments du langage et en égayant les graves questions qu'il aborde par de piquantes anecdotes et de curieux détails de mœurs.

Voici une analyse très-complète de cette conférence.

Le père d'Alexis Clairault était un pauvre professeur plus chargé de famille que de fortune; il instruisait lui-même ses nombreux enfants, et tout naturellement il leur enseignait surtout ce qu'il savait le mieux, les mathématiques. Le jeune Alexis apprit donc à lire dans les éléments d'Euclide. A dix ans il comprenait déjà le traité des sections coniques de l'Hospital, et à treize ans il présentait à l'Académie des sciences un traité mathématique qui obtint son approbation. Ce traité, il est vrai, ne s'élevait guère beaucoup au-dessus des très-bons devoirs que font quelquefois, à l'âge de seize ou dix-huit ans, les élèves de nos lycées. Les soins du père d'Alexis Clairault n'avaient donc avancé sa maturité que de quatre à cinq ans tout au plus. Du reste, son frère cadet ne fut pas moins précoce que lui, car, à l'âge de quatorze ans, il présentait aussi, à l'Académie des sciences, un mémoire également approuvé par elle. Mais une pareille précocité semble plutôt à craindre qu'à désirer : le frère de Clairault mourut en effet à seize ans.

L'Académie des sciences, pour témoigner à Alexis Clairault l'estime que lui inspiraient ses mémoires, le présenta bientôt en seconde ligne au choix du roi pour une place vacante dans son sein. Il n'avait encore que seize ans. Le candidat présenté en première ligne était Saurin, qui s'était assez peu préoccupé jusque-là du progrès de la science, et qui depuis ne fit rien pour elle. En troisième ligne on avait mis Bouquet, déjà célèbre par plusieurs ouvrages importants, où ne manquaient pas les vues nouvelles. Comme le dit M. Bertrand, les élections académiques ont des mystères qu'il n'est pas permis de sonder. Au lieu de confirmer immédiatement le choix de l'Académie en nommant dès la séance suivante le premier candidat présenté, ainsi que cela se pratiquait d'ordinaire, le roi fit attendre sa décision pendant deux ans, et lorsque Clairault eut atteint sa dix-huitième année, c'est lui qui obtint la préférence. Saurin, ainsi évincé, changea de voie : il fit des tragédies et devint membre de l'Académie française.

Clairault est le savant qui entra le plus jeune à l'Académie des sciences : il n'avait, en effet, que dix-huit ans. Mais les usages, à cet égard, étaient loin d'être alors ce qu'ils sont devenus aujourd'hui. L'honneur d'entrer à l'Académie n'était pas toujours le couronnement d'une carrière, il en marquait souvent les premiers débuts. C'est ainsi que d'Alembert fut élu à vingt-trois ans, Maupertuis à vingt-quatre, Condorcet à vingt-six, la Condamine à vingt-neuf, et un grand nombre d'autres de trente à quarante ans. Peut-être ne serait-il pas toujours inopportun aujourd'hui de se rapprocher, dans une certaine mesure, de ces habitudes anciennes, qui n'étonnaient personne au XVIIIe siècle.

Entré à l'Académie, Clairault présenta régulièrement des mémoires comme ses collègues et remplit avec exactitude tous ses devoirs d'académicien. Le plus difficile et le plus délicat de ces devoirs, pour un homme de son âge, c'était, sans contredit, la mission de juger les travaux soumis à l'Académie par les savants étrangers. Clairault eut ainsi à critiquer un mémoire mathématique de Voltaire sur la force d'un corps en mouvement.

Digitized by Google

Le mémoire n'avait aucune valeur; mais Voltaire était déjà une puissance avec laquelle il fallait compter et qu'il était dangereux de blesser. Clairault ne pouvait donc ni ne voulait montrer une franchise complète. Il sut se tirer habilement de ce pas difficile sans se compromettre aux yeux des philosophes et sans trahir la vérité. Après avoir analysé les différents chapitres du mémoire, il terminait à peu près en ces termes : « Ce mémoire montre que M. de Voltaire est très au courant de ce qui a été écrit sur cette question et qu'il l'a profondément méditée. »

A cette époque, le monde savant était encore divisé sur le point de savoir quelle est la force d'un corps en mouvement. Pour obtenir cette force, il fallait, suivant Leibnitz, multiplier la masse par la vitesse, et, suivant Descartes, la masse par le carré de la vitesse. En d'autres termes, si un corps pèse moitié moins qu'un autre corps, doit-il, pour posséder la même force, avoir une vitesse double ou une vitesse quadruple? Dans le premiers cas il a la même force vive, et Leibnitz dit qu'il produit le même effet; dans le second, il a la même quantité de mouvement, et Descartes le proclame équivalent au premier. C'est d'Alembert qui devait mettre fin à cette discussion oiseuse, en montrant que la question ainsi posée est toujours vague et stérile. Mais, bien longtemps avant lui, Galilée, dans ses *Dialogues*, avait déjà mis ce fait en évidence d'une manière aussi ingénieuse que spirituelle.

Supposez, par exemple — dit l'un des trois interlocuteurs de ces dialogues — un mouton pesant 100 livres et tombant d'une hauteur de 4 pieds sur la tête d'un pieu planté en terre; il l'enfoncera, je suppose, de 3 pouces : comment évaluer la force de ce choc? — D'une manière bien simple, répond le personnage qui représente les savants d'alors, je placerai sur la tête du pieu un poids assez considérable, 1000 livres, par exemple, pour le faire enfoncer de 3 pouces; la force du choc est évidemment égale à ce poids, puisqu'elle produit le même effet que lui. — Très-bien! mais qu'arrivera-t-il si vous laissez indéfiniment ce poids de 1000 livres sur la tête du pieu? — Il n'arrivera rien, puisque ce poids a produit son effet en enfonçant le pieu de 3 pouces. — Et si vous enlevez ce poids de 1000 livres pour le remplacer par un autre aussi de 1000 livres? — Rien encore, car le second n'a pas plus de force que le premier. — Et si vous donnez un second coup de mouton? — Ici, le contradicteur de Galilée est bien forcé d'avouer que le pieu s'enfoncera de nouveau et, par conséquent, que c'est une chimère de vouloir égaler la force d'un choc à un poids.

En 1736, Clairault, qui avait alors vingt-trois ans, fut chargé d'un travail qui eut un grand retentissement et devait être l'occasion de son principal ouvrage. Il s'agissait de la forme de la terre. La forme sphérique de la terre était connue depuis très-longtemps, et l'on avait même cherché, dès l'antiquité, à évaluer ses dimensions. Aristote fixait à 40 000 stades, c'est-à-dire environ 4000 lieues, la circonférence de notre globe. C'était une mesure beaucoup trop faible. Mais, par contre, Archimède en donne une autre qui est notablement trop forte. En instituant l'Académie des sciences, Louis XIV la chargea de déterminer les dimensions véritables de la terre, et Picard mesura directement plusieurs degrés, ce qui permit de résoudre la question d'une manière assez exacte.

Dans toutes ces recherches, la sphéricité parfaite de la terre n'était jamais mise en doute. Mais l'astronome Richet, envoyé à Cayenne pour y faire diverses observations, fut tout étonné de constater en arrivant que son pendule, qui battait très-exactement les secondes en France, oscillait moins vite à la Guyane, et il fut obligé de le raccourcir de plus d'une ligne pour ramener la durée de l'oscillation à une seconde. De retour en France, le pendule se dérangea une seconde fois, et l'on dut, pour rendre à l'oscillation sa durée primitive, le rallonger précisément de la quantité dont on l'avait raccourci à la Guyane. Comme c'est la pesanteur ou, en d'autres termes, l'attraction terrestre qui fait osciller le pendule, il semblait donc que la pesanteur diminuât dans la région équatoriale.

C'est là, disait Fontenelle, une exception que la théorie n'avait pas prévue. Mais en cela Fontenelle se trompait. Huyghens et Newton avaient indiqué et même calculé cette diminution de la pesanteur dans la région équatoriale. On sait, en effet, que lorsqu'un corps tourne autour d'un centre en décrivant une circonférence, il se développe une force dite *force centrifuge*, et qui tend sans cesse à le faire échapper suivant la tangente à la circonférence qu'il décrit. C'est le mécanisme réalisé dans les frondes. Plus la circonférence décrite est étendue, plus la force centrifuge est considérable. Or, on sait que la terre est animée d'un mouvement de rotation sur elle-même qui s'exécute autour d'un axe passant par les pôles. Tout les corps placés à la surface de notre globe décrivent donc chaque jour une circonférence qui est nulle pour le pôle lui-même, et qui augmente à mesure que l'on s'approche de l'équateur. Ce mouvement de rotation engendre une force centrifuge qui diminue d'autant la pesanteur, et à l'équateur cette diminution est de 1/280 du poids des corps.

Voilà donc une première cause qui diminue la rapidité des oscillations pendulaires, mais elle n'explique que les deux tiers des effets observés. Il faut donc une seconde cause pour rendre compte du troisième tiers, et cette seconde cause a été aussi indiquée par Newton et Huyghens : c'est l'aplatissement de la terre aux pôles, de telle sorte que les objets placés aux pôles sont plus rapprochés du centre de la terre et, par suite, plus fortement attirés par elle que les objets placés à l'équateur.

La théorie de Newton était universellement acceptée, et il en résultait que les degrés devaient être plus longs aux pôles qu'à l'équateur. Mais Cassini, en mesurant les

Digitized by Google

degrés de Paris aux Pyrénées, pour l'exécution de la carte de France, trouva que la longueur des degrés augmentait à mesure que l'on s'avançait vers le sud. Il communiqua des résultats à l'Académie. On lui fit observer qu'ils étaient contraires à la théorie de Newton, et il le reconnut en disant qu'il n'y pouvait rien changer. Quelque temps après, en mesurant les degrés entre Paris et Dunkerque, il constata une seconde fois qu'ils s'allongeaient quand on marchait vers l'équateur.

Il semblait donc que la terre, au lieu d'être aplatie aux pôles comme le voulait Newton, était au contraire allongée, et le monde savant fut ainsi partagé en deux camps, l'un soutenant que la terre était aplatie en se fondant sur la théorie, l'autre prétendant qu'elle était allongée en invoquant les faits, c'est-à-dire les mesures de Cassini. Le successeur de Fontenelle à l'Académie des sciences essaya de concilier ces deux opinions en disant que la terre avait d'abord été très-allongée, puis qu'en se mettant à tourner sur elle-même elle s'était aplatie aux pôles, juste assez pour satisfaire aux exigences de la théorie de Newton, mais de manière à rester encore assez allongée pour ne pas contredire les mesures de Cassini. Toutefois ce moyen terme bizarre n'eut guère de succès et les deux opinions radicales restaient en présence.

C'est pour trancher cette question que l'Académie des sciences se décida, en 1736, à envoyer deux commissions chargées de déterminer la longueur du degré, l'une très-près du pôle, en Laponie, l'autre dans les régions intertropicales. La Condamine fut l'âme de celle-ci, et quant à la première, qui seule nous intéresse pour le moment, ses principaux membres étaient Clairault et Maupertuis.

Clairault s'était beaucoup plus occupé jusque-là de théorie que de pratique, et les instruments géodésiques lui étaient bien moins familiers que les théorèmes de géométrie pure. Il alla donc avec Maupertuis s'installer au mont Valérien, loin des bruits de la Ville, pour s'exercer avec plus de tranquillité au maniement de ces instruments. Mais dans cette demi-solitude Clairault ne vivait pas en cénobite ; il recevait souvent des visites de Paris, et madame du Châtelet, notamment, la célèbre amie de Voltaire, arrivait chaque matin à cheval, — sans plus s'inquiéter des fatigues du voyage que de ce que pourrait en penser le monde, — pour prendre une leçon de géométrie. A en juger par le traité de géométrie que nous a laissé Clairault, il semblerait que ces leçons dussent être bien superficielles. Elles mirent pourtant madame du Châtelet en état de traduire les *Principes* de Newton et d'y ajouter même des notes où il est permis toutefois de soupçonner la main de son maître. Mais sur ce point comme sur l'intimité plus ou moins grande de leurs relations, nous en sommes réduits aux conjectures.

Clairault et ses compagnons partirent de Dunkerque et débarquèrent à Stokholm. Le roi de Suède leur fit bon accueil et leur donna des fusils en leur annonçant qu'ils trouveraient un bon pays de chasse. Mais là ne se borna point sa libéralité : il mit, en outre, à leur disposition des soldats sans l'assistance desquels les opérations géodésiques qu'ils allaient entreprendre auraient été tout à fait impossibles. Ainsi munis, ils se dirigèrent vers la Laponie où les attendaient bien des déceptions et des souffrances.

Lorsqu'on veut mesurer un arc de méridien un peu étendu, il va sans dire qu'on ne prend pas une chaîne d'arpenteur pour la transporter successivement d'un bout à l'autre de cet arc : une telle méthode serait impraticable à cause des nombreuses inégalités de terrain dont il faudrait tenir compte, et elle conduirait du reste aux plus grossières erreurs par suite de l'imperfection de nos instruments de mesure. Voici donc comment on procède. On choisit une base, orientée d'une façon quelconque, et dans une plaine parfaitement plate. Cette base, qui doit autant que possible avoir une couple de lieues de longueur, est mesurée directement avec des instruments très-précis. De chacune des deux extrémités de cette base on vise ensuite avec une lunette un point de mire quelconque, de telle sorte que les deux rayons visuels aboutissant à ce point de mire, et la base elle-même, déterminent un triangle dont on connaît ainsi un côté et deux angles. Des calculs trigonométriques assez simples permettent de déterminer les trois autres éléments de ce triangle, c'est-à-dire les deux derniers côtés et le troisième angle. Ce premier triangle ainsi connu on en construit un second de la même manière sur un des côtés du premier, puis un troisième sur le second, un quatrième sur le troisième et ainsi de suite. On obtient de la sorte un réseau de triangles choisis de manière à être traversés par la ligne méridienne qu'on veut mesurer et qui permettent de déterminer très-exactement, à l'aide du calcul, la longueur de cette ligne entre deux points donnés.

Après avoir fait choix d'une base, la commission commença par les travaux de triangulation. Dans les opérations géodésiques exécutées en France, on prenait pour point de mire les clochers des églises. Mais il était impossible de faire de même en Laponie, puisqu'on n'y trouvait pas d'églises, et le choix des stations présentait les plus grandes difficultés dans ce pays tout couvert de forêts. Il fallait abattre les arbres sur le sommet des collines pour y construire des échafaudages sur lesquels était établi ensuite le point de mire. On ne marchait que la hache à la main et, bien qu'on fût en Laponie, les fatigues d'un pareil travail étaient encore accrues par les ardeurs du soleil qui ne quittait guère l'horizon. Nos académiciens souffraient particulièrement des atteintes des moustiques. Cependant, ayant rencontré deux jeunes Laponnes qui avaient allumé de grands feux, — ce qui ne laissait pas que d'être étonnant par une pareille chaleur, — ils remarquèrent qu'elles se mettaient dans la fumée pour échapper aux piqûres de ces insectes, et, en les imitant, ils purent ainsi se préserver de ce fléau pendant leurs stations : mais il fallait toujours le subir pendant la marche. Enfin, pour comble de malheur, ils

Digitized by Google

avaient beaucoup de peine à se nourrir d'une manière convenable, et le roi de Suède les avait singulièrement trompés en leur disant qu'ils allaient visiter un bon pays de chasse.

Enfin le travail de triangulation fut terminé et la commission revint à son point de départ pour mesurer la base. Dans l'intervalle l'hiver était survenu, et la plaine où ils devaient opérer était complétement couverte de neige. Le soleil ne paraissait plus chaque jour qu'une douzaine de minutes à l'horizon, et ils souffrirent autant du froid qu'ils avaient souffert jusque-là de la chaleur. L'eau-de-vie était leur seule boisson, toutes les autres se congelant rapidement; mais lorsqu'ils portaient la gourde à leurs lèvres, elle s'y collait aussitôt et ils ne pouvaient plus la retirer qu'en arrachant la peau.

En utilisant les douze minutes de clarté, augmentées du crépuscule, que leur accordait chaque jour le soleil, et en profitant aussi des aurores boréales toujours si nombreuses pendant les longues nuits du pôle, ils purent mesurer en sept jours leur base qui avait sept mille quatre cents toises de long. Ils s'étaient divisés pour ce travail en deux groupes qui opéraient séparément, et en marchant en sens inverse l'un de l'autre, de manière à se contrôler mutuellement. Les deux résultats ne différèrent, paraît-il, que de quatre pouces, et une concordance si remarquable leur parut une garantie suffisante d'exactitude. Ils s'en tinrent donc là, et la conclusion de ce long travail fut que le degré avait en Laponie, tout près du pôle, cinq cent six toises de plus que les degrés mesurés en France par Cassini.

La commission envoyée dans les régions équatoriales en rapporta des résultats qui s'accordaient très-bien avec ceux-là; elle avait trouvé, en effet, le degré de cinq cents toises environ plus court qu'en France. Il était ainsi établi que la longueur du degré allait en croissant de l'équateur au pôle.

Quoique dans la commission envoyée au pôle nord, le génie de Clairault fût certainement supérieur à celui de ses collègues, il n'eut pas le premier rôle aux yeux du public. Maupertuis, qui avait autant d'adresse que d'ambition, sut accaparer toute la gloire de l'expédition, et c'est lui qui soutint presque seul les discussions auxquelles elle donna lieu. Il se fit représenter avec un bonnet d'ours, aplatissant le pôle de la terre, et Voltaire composa pour lui un quatrain où il déclarait qu'il méritait un temple bien mieux que tous ceux auxquels l'humanité en avait élevés. Il est vrai que plus tard, s'étant brouillé avec lui, il remplaça ce quatrain, au bas du fameux portrait au bonnet d'ours, par un quatrain satirique très-peu flatteur.

Clairault n'obtint point les louanges de Voltaire, mais il n'encourut pas non plus ses épigrammes. Pensionnaire de l'Académie des sciences, il publia bientôt son *Traité sur la figure de la terre*, qui est le plus beau fruit de l'expédition au pôle nord. Clairault étudie dans cet ouvrage les causes de l'aplatissement de la terre. Il met de côté toutes les mesures, soutenant qu'elles peuvent toujours être inexactes : et peut-être savait-il mieux que personne à quoi s'en tenir à cet égard. Il examine donc simplement, en se servant de pures considérations géométriques, quelle forme doit prendre sous l'influence de la pesanteur une masse planétaire fluide animée d'un mouvement de rotation sur elle-même.

Le *Traité sur la figure de la terre* montrait en Clairault un disciple éminent de Newton; son livre sur la théorie de la lune en fit le rival de d'Alembert. Ses calculs, dont il tira prématurément les conclusions, l'avaient porté à croire — bien à tort — qu'il fallait modifier la formule si simple de Newton en y introduisant un nouveau terme. Cette opinion lui valut d'assez vives attaques, notamment de la part de Buffon et de Fontaine : ceux-ci avaient certainement raison; mais ils ne trouvèrent que des motifs très-faibles et les présentèrent fort mal. Aussi tout l'honneur de cette discussion resta-t-il à Clairault qui avait tort.

La théorie de la lune n'intéressait point seulement les astronomes; elle pouvait être aussi fort utile aux navigateurs pour la détermination des longitudes en mer. La longitude n'est autre chose en définitive que l'angle de deux méridiens : l'un qui est fixe et sert de point de départ aux degrés, par exemple celui de Londres ou de Paris; l'autre qui est mobile et passe au point où se trouve actuellement le navire. A un moment donné, l'heure est différente à chaque degré de longitude, et cette différence d'heure caractérise suffisamment chaque méridien. Comme il est relativement facile de déterminer en mer l'heure qu'il est actuellement au lieu où l'on se trouve, le problème de la longitude se réduit donc, en dernière analyse, à pouvoir toujours connaître facilement, à tous les instants, l'heure du méridien type, celui de Londres ou celui de Paris. Des prix de diverses importances avaient été offerts dans plusieurs pays pour la solution de ce problème, et l'amirauté anglaise avait même promis 20 000 livres sterling, c'est-à-dire plus de 500 000 francs, à celui qui trouverait le moyen de déterminer la longitude avec une erreur de moins d'un demi-degré.

Pour avoir à tout instant l'heure de Londres sur un navire, le moyen le plus simple était évidemment d'emporter une bonne montre réglée à Londres. Mais on ne pouvait obtenir l'approximation exigée par l'amirauté anglaise que si la montre ne se dérangeait pas de deux minutes en six mois, et les horlogers d'alors ne pouvaient point répondre d'une telle perfection.

Cependant le célèbre Harrison présenta au conseil d'amirauté une montre qu'il disait remplir les conditions voulues : elle fut donc embarquée et au bout de six mois elle ne s'était dérangée, en effet, que d'une minute et deux secondes. Harrison réclama donc la récompense promise, mais on lui répondit que ce qu'il fallait, c'était une méthode applicable pour tout le monde, non une montre qui ne pouvait servir qu'à un seul navire;

Digitized by Google

rien ne prouvait d'ailleurs qu'il pourrait encore construire des montres aussi parfaites et l'on se contenta de lui donner 5000 livres (125 000 fr.). Harrison se remit donc à l'œuvre et construisit un grand nombre de montres aussi exactes que la première. C'est mieux, lui dit-on; mais comme vous êtes un ouvrier fort habile, il n'est point certain que vos successeurs le seront autant que vous : et on ne lui donna encore que 10 000 livres (250 000 fr.). Cependant Harrison ne se découragea point; il forma des ouvriers qui exécutèrent le même travail que lui, et alors seulement il obtint les 5000 dernières livres complétant sa récompense.

Mais en définitive, la meilleure montre c'est encore le ciel, puisque c'est sur celle-là que l'on règle toutes les autres. Les astronomes pouvaient donc concourir aussi bien que les horlogers. En effet, un phénomène céleste quelconque peut servir à indiquer l'heure pourvu que, prévu par la théorie, il s'accomplisse exactement au moment qu'elle a indiqué. Or, un des phénomènes les plus facilement observables en mer, c'est l'occultation des différentes constellations par la lune. De bonnes tables de la lune, indiquant exactement le moment précis de chacune de ces occultations, seraient donc très-utiles pour la détermination des longitudes. Aussi Clairault envoya-t-il au conseil d'amirauté son ouvrage sur la théorie de la lune. Mais il n'obtint pas une réponse favorable et l'on ne manqua pas de l'attribuer à des jalousies nationales. Cependant la décision était juste, car les théorèmes et les développements mathématiques de Clairault, très-intéressants pour un astronome, étaient en définitive assez peu pratiques, et par là même très-peu propres à toucher un conseil de marins.

Le dernier acte important de la vie scientifique de Clairault, c'est le calcul du retour de la comète de Halley. Cette comète avait déjà été observée trois fois, à des intervalles assez notablement différents les uns des autres et qui oscillaient autour de soixante-seize ans. Mais Halley expliquait ces inégalités par l'influence de différents astres, et il accusait particulièrement de cette perturbation Jupiter et Saturne. Il calcula les éléments de l'orbite de cette comète et prédit son retour dans un temps à peu près égal à soixante-seize ans, mais sans le préciser beaucoup plus. L'époque indiquée par Halley approchait et Clairault résolut de calculer aussi exactement que possible le moment de la prochaine apparition de la comète.

Comme la première qualité d'une prédiction est d'arriver avant l'événement qu'elle annonce, il fallait se presser. Clairault se mit donc aussitôt à l'œuvre, et grâce à sa connaissance du pays, qui lui permettait souvent de prendre les chemins de traverse, il termina dans un temps relativement très-court ces calculs extrêmement compliqués. Le 10 novembre 1758, il lut à l'Académie des sciences un mémoire dans lequel il annonçait le passage de la comète de Halley au périhélie pour le 15 avril suivant, en ajoutant toutefois que, par suite de l'incertitude de certaines données, il pouvait commettre une erreur d'un mois en plus ou en moins.

Le passage de la comète au perihélie se fit le 13 mars. C'était un grand succès pour Clairault; mais il ne fut pas tout entier pour lui et ses ennemis affectèrent de parler en tous lieux de la réalisation de la prédiction de Halley. Le *Mercure* du mois de mai, en racontant l'événement, ne fait allusion à Clairault que pour appeler son mémoire un discours ne contenant pas de calculs sérieux. Puis on insista sur l'erreur d'un mois qu'il avait commise, et, ses amis soutenant qu'elle était bien minime, puisqu'elle correspondait à un 900e de la quantité à calculer, on leur répondait que l'inconnu du problème n'était pas la durée entière de la révolution de la comète, mais la différence entre l'intervalle des deux dernières apparitions et la période qui devait s'écouler depuis la plus récente jusqu'à la prochaine. Clairault ne s'était donc pas trompé d'un 900e, mais bien d'un 18e : et sur ce point ses adversaires avaient raison.

D'Alembert se mêla avec une certaine vivacité à ces critiques, et c'est à lui surtout que Clairault répondit en montrant du reste beaucoup de modération. Si l'on n'avait point eu pour but de dénigrer mon travail, dit-il à peu près dans sa défense, on ne serait point tant occupé de savoir si je m'étais trompé d'un 900e ou d'un 78e, mais bien si je pouvais faire mieux que je n'ai fait avec les méthodes actuellement connues. Quant au reproche de ne point rendre assez justice à d'Alembert, j'avoue que je le mérite un peu; mais si je ne l'avais pas toujours entendu vanter autour de moi, je n'aurais jamais cessé de lui donner les éloges que méritent ses ouvrages.

Clairault mourut le 2 mai 1765, à l'âge de cinquante-deux ans. Son père, qui lui survécut, avait déjà perdu dix-neuf enfants et il ne lui restait plus alors qu'une fille à laquelle le roi accorda aussitôt une pension.

Clairault n'avait point seulement les qualités du savant; les agréments de son esprit le faisaient rechercher dans le monde, et il n'était point insensible aux plaisirs de la société qui, du reste, ne lui firent point défaut. Il aimait beaucoup aussi la bonne chère, et les nombreuses indigestions qui en résultèrent pour lui hâtèrent sans doute sa mort. Son ménage était tenu par une jeune gouvernante fort jolie que sa mort, dit Diderot, plongea dans le veuvage. Cependant il était capable d'affections plus élevées. Comme J. J. Rousseau il aima après avoir dépassé l'âge de plaire ; mais plus discret que lui, il ne nous laissa point de confessions. C'est à peine si le nom de celle qu'il aimait est parvenue jusqu'à nous, et il y a lieu de croire qu'il n'obtint que son estime.

É. A.

Digitized by Google

UNIVERSITÉ DE BALE

CHIMIE GÉNÉRALE.

COURS DE M. SCHOENBEIN.

Des actions catalytiques produites par les matières organiques et de leur distribution dans le règne végétal et dans le règne animal.

Les actions que Berzelius a désignées sous le nom « d'actions catalytiques, » doivent être rangées parmi les phénomènes les plus inconnus de la chimie : de ce nombre sont surtout les actions catalytiques de certaines substances organiques : par exemple, la décomposition du sucre de raisin en alcool et en acide carbonique sous l'influence de la levûre de bière, et la formation de cette matière sucrée dans l'action de l'eau sur l'amidon en présence de la diastase.

Je crois que ce genre de phénomènes présente un très-grand intérêt théorique, et je suis persuadé que la découverte de la cause qui les produit sera le point de départ d'un progrès considérable dans la chimie scientifique. Dans ces dernières années, je me suis fréquemment occupé de ces questions et mon attention s'est surtout portée sur la décomposition de l'eau oxygénée HO^2 en eau et en oxygène ordinaire en présence du platine, et sur la formation de l'eau par la combinaison de l'oxygène ordinaire avec l'hydrogène sous l'influence de ce même métal. Ces deux phénomènes me paraissent être les types de toutes les actions catalytiques, et leur étude doit nous conduire à l'explication de tous les phénomènes de ce genre.

Voici comment j'explique la décomposition de l'eau oxygénée sous l'influence du platine. Le platine jouit de la propriété de transformer en ozone $\ominus$ l'antozone $\oplus$ de la molécule d'eau oxygénée $HO +$ qui se trouve en contact avec lui. Cet ozone $\ominus$ se combine avec l'antozone $\oplus$ d'une molécule qui se trouve à une certaine distance du platine; il se forme ainsi de l'oxygène ordinaire O qui ne peut plus rester en combinaison avec HO et qui se dégage à l'état gazeux.

Pour faciliter l'étude des phénomènes que je vais décrire, je rappellerai la réaction principale qui m'a conduit à admettre cette hypothèse, savoir l'action de l'eau oxygénée sur la teinture de gaïac en présence du platine. On sait que cette teinture se comporte en présence de l'oxygène ozonisé $\ominus$, absolument de la même manière que l'empois d'amidon en présence de l'iode : l'ozone, libre ou combiné, comme dans $PbO + \ominus$, etc., bleuit cette teinture, tandis que l'antozone $\oplus$, combiné avec l'eau ordinaire, dans $HO + \oplus$, n'a aucune action sur elle. Or, si l'on ajoute de petites quantités de noir de platine à de la teinture de gaïac additionnée d'eau oxygénée, le mélange bleuit instantanément, absolument comme la teinture seule bleuit sous l'influence du peroxyde de plomb ou d'un ozonide quelconque. Cette réaction suffit pour nous prouver que, sous l'influence du platine, l'antozone $\oplus$ du peroxyde d'hydrogène, $HO + \oplus$, acquiert l'activité chimique de l'ozone, c'est-à-dire, pour employer mon langage ordinaire, qu'il se transforme en $\ominus$.

Le platine n'est pas seul à produire cette action; tous les autres métaux nobles, par exemple le mercure, l'or, l'argent, l'osmium, etc., bleuissent très-rapidement la teinture de gaïac additionnée de HO^2. Nous savons de même que ces métaux décomposent, comme le platine, le peroxyde d'hydrogène sans subir aucune oxydation. Il résulte de là que la propriété que possèdent ces corps de catalyser HO^2 est en relation intime avec leur propriété de bleuir la teinture de gaïac additionnée de HO^2. On peut donc conclure de l'une de ces propriétés l'existence de l'autre, et admettre que ces phénomènes sont dus à une seule et même cause. La teinture de gaïac additionnée de HO^2 est un réactif très-précieux dans les recherches destinées à amener la découverte de substances décomposant le peroxyde d'hydrogène de la même manière que le platine. Les expériences que je vais décrire montreront que ce réactif m'a fait découvrir un grand nombre de ces matières dans le règne végétal et dans le règne animal. La teinture dont je me sers ordinairement renferme à peu près 1 pour 100 de résine de gaïac et une quantité très-petite d'eau oxygénée.

MATIÈRES VÉGÉTALES DOUÉES DE PROPRIÉTÉS CATALYTIQUES.

Gluten. — La teinture de gaïac additionnée de HO^2 prend une couleur bleu foncé lorsqu'on y projette de la farine de froment; cette même farine projetée dans de l'eau oxygénée seule, produit un dégagement assez vif d'oxygène ordinaire. Comme l'amidon pur ne produit aucune de ces réactions, on peut supposer qu'elles sont dues à la présence du gluten contenu dans la farine. Lorsqu'on met en contact avec de l'eau oxygénée du gluten frais ou préparé depuis longtemps et complétement débarrassé d'amidon, on le voit se couvrir d'une multitude de petites bulles gazeuses qui ne tardent pas à le soulever; on reconnaît facilement, en recueillant le gaz qui se dégage, que c'est de l'oxygène ordinaire. Inutile de dire que la teinture de gaïac additionnée de HO^2, bleuit lorsqu'on y ajoute du gluten frais.

Diastase. — Le malt d'orge égrugée bleuit assez rapidement la teinture de gaïac additionnée de HO^2 et décompose le peroxyde d'hydrogène avec un dégagement notable d'oxygène. Un extrait obtenu en traitant du malt d'orge par de l'eau à la température ordinaire et en filtrant ensuite, possède aussi la propriété de bleuir la teinture de gaïac additionnée d'eau oxygénée et de produire avec HO^2 un dégagement appréciable d'oxygène ordinaire. Lorsqu'on y ajoute des quantités de HO^2 relativement très-grandes, cet extrait se trouble et laisse déposer une matière blanchâtre très-divisée qui bleuit la teinture de gaïac additionnée de HO^2 et qui a la propriété de catalyser HO^2. Ce mélange abandonné à lui-même pendant quelques heures, puis filtré, donne un liquide qui ne bleuit plus la teinture de gaïac et qui ne décompose plus HO^2. L'extrait de malt conserve au contraire cette propriété même lorsqu'il devient acide; mais il la perd instantanément quand on l'expose à la température de l'ébullition de l'eau.

Comme ni la dextrine ni la glycose (partie soluble du malt) ne peuvent produire ces réactions, il est permis de supposer que la matière qui entre en jeu n'est autre que la diastase. On verra cependant un peu plus loin que, dans toutes les graines de graminées, on trouve, même avant la germination, une matière soluble agissant sur le peroxyde d'hydrogène et bleuissant la teinture de gaïac additionnée de HO^2.

Emulsine. — La pulpe d'amandes douces écrasée et délayée dans de l'eau donne une bouillie jouissant de la propriété de colorer très-rapidement, en bleu très-foncé, la teinture de gaïac additionnée de HO^2. Cette même bouillie produit avec le peroxyde d'hydrogène un dégagement d'oxygène assez considérable. En chauffant la pulpe d'amandes 100 degrés, en présence de l'eau, elle

Digitized by Google

perd pour toujours cette propriété, ce qui tend à prouver que c'est l'émulsine qui produit les réactions dont nous venons de parler.

Myrosine. — Lorsqu'on broie de la moutarde noire avec de l'eau, on obtient par filtration un liquide qui bleuit très-vite la teinture de gaïac. La moutarde en poudre donne lieu à un dégagement d'oxygène très-vif lorsqu'on l'arrose avec de l'eau oxygénée; la même réaction s'observe pour la graine de moutarde, ainsi que le prouvent les nombreuses bulles de gaz que l'on voit se détacher assez vite de la surface des grains.

L'addition de peroxyde d'hydrogène à l'extrait aqueux obtenu en filtrant l'eau par laquelle on a traité la moutarde produit un dégagement de gaz peu abondant, quoique très-appréciable. Il se forme en même temps une matière blanchâtre qui ne possède pas la propriété de catalyser le peroxyde d'hydrogène. Lorsqu'on ajoute une grande quantité de HO^2 à cet extrait aqueux, il perd la propriété de bleuir la teinture de gaïac additionnée de HO^2. La moutarde noire projetée dans de l'eau bouillante et son extrait aqueux chauffé à l'ébullition perdent presque instantanément les propriétés que nous venons de mentionner. La moutarde jaune, broyée avec de l'eau, colore aussi en bleu la teinture de gaïac, mais son action n'est pas aussi rapide que celle de la moutarde noire; la graine de cette moutarde produit un dégagement gazeux assez abondant dans l'eau oxygénée et il est presque inutile d'ajouter que la moutarde jaune perd ses propriétés catalytiques lorsqu'on la chauffe à la température de l'ébullition de l'eau. Ces réactions sont toutes dues à la myrosine contenue dans la moutarde, ainsi que le prouve de la manière la plus évidente ce fait, que toutes les réactions qui enlèvent à ce ferment sa propriété d'agir sur le myronate de potasse, rendent la moutarde indifférente pour le peroxyde d'hydrogène, etc.

Levûre de bière. — Schlossberger, le premier, a trouvé que la levûre de bière décompose le peroxyde d'hydrogène de la même manière que le platine, et les résultats de mes propres expériences confirment entièrement ceux de ce chimiste. J'ajouterai de plus que la levûre perd au bout d'un certain temps la propriété de catalyser l'eau oxygénée, et que si, pour une cause quelconque elle a perdu la propriété de produire la fermentation alcoolique de la glycose, elle a aussi perdu celle de catalyser le peroxyde d'hydrogène. Chose curieuse, la levûre de bière est une des rares substances qui décomposent HO^2 de même que le platine et qui, faisant exception à la règle générale, ne bleuissent pas la teinture de gaïac additionnée de HO^2; je ne suis pas encore parvenu à saisir la cause de cette anomalie.

Les substances capables de jouer le rôle de ferments ne sont pas les seules matières végétales qui jouissent de la propriété de catalyser HO^2. Il résulte de mes recherches que ces substances sont tellement répandues dans le règne végétal qu'il n'existe peut-être pas une seule plante dans laquelle on ne puisse en constater la présence. J'ai examiné sous ce point de vue des centaines de plantes très-diverses (naturellement des plantes fraîches) : des herbes, des arbustes et des arbres, selon l'occasion; j'ai aussi examiné des champignons, des moisissures, etc., et jusqu'ici je n'ai pas encore rencontré une seule plante entièrement privée de matières capables de catalyser HO^2. Il se trouve toujours de ces matières dans les racines et dans la semence; très-souvent on en rencontre dans d'autres parties de ces plantes, par exemple dans les pétioles, dans les feuilles, dans les bourgeons, dans les fleurs, dans les fruits, dans l'écorce verte des arbres, etc.

Pour constater la présence d'une substance capable de catalyser HO^2, il suffit d'écraser dans un verre, avec un peu d'eau, une petite portion de la plante qu'on veut examiner; on ajoute ensuite quelques gouttes de la teinture de gaïac additionnée de HO^2, et si celle-ci bleuit plus ou moins rapidement, on peut être certain que la partie de la plante examinée contient une substance jouissant de la propriété de catalyser HO^2 de la même manière que le platine. Si l'on examine de cette manière les semences ou les racines des différentes plantes, on trouve qu'elles bleuissent toujours la teinture de gaïac contenant HO^2; lorsqu'on met ces substances en présence de l'eau oxygénée, elles la décomposent et produisent un dégagement d'oxygène ordinaire. Pour constater ces réactions, on peut se servir de la première semence venue : l'orge, le seigle, le millet, la semence de cresson, la racine de *Leontodon taraxacum*, la *Lactuca sativa*, la pomme de terre et surtout la pelure de pomme de terre, remplissent très-bien le but. Les extraits aqueux des semences et des racines, obtenus à froid et filtrés, produisent les mêmes phénomènes, ce qui prouve que la matière capable de catalyser HO^2 est soluble dans l'eau. Il est à remarquer qu'à la température de l'ébullition de l'eau ces graines et ces racines, ainsi que leur extrait aqueux, perdent leur activité catalytique. Quant à la nature chimique de ces substances, on a tout lieu de croire qu'elles sont de nature albumineuse; elles ne sont peut-être autre chose que de l'albumine végétale. Si cette hypothèse était vraie, il y aurait entre l'albumine végétale et l'albumine animale la grande différence que la première catalyse HO^2, tandis que la seconde est complétement privée de cette propriété, comme le montrent mes expériences.

MATIÈRES ANIMALES DOUÉES DE PROPRIÉTÉS CATALYTIQUES.

La fibrine du sang décompose l'eau oxygénée comme le platine; c'est ce que Thénard a constaté depuis longtemps. Dans une leçon précédente (1), j'ai montré que les globules sanguins jouissent de cette même propriété. Je me réserve de publier plus tard une énumération complète de toutes les substances animales qui exercent une action catalytique sur HO^2; je me contenterai, pour le moment, d'en nommer quelques-unes chez lesquelles on n'avait pas constaté jusqu'ici cette propriété.

La salive humaine (surtout le matin) bleuit nettement et d'une manière assez rapide la teinture de gaïac additionnée de HO^2. Elle décompose aussi le peroxyde d'hydrogène avec un dégagement notable d'oxygène ordinaire; la morve possède les mêmes propriétés.

La caillette fraîche ou desséchée catalyse assez rapidement HO^2, mais, de même que la levûre de bière, elle fait exception à la règle générale en ce sens qu'elle ne bleuit pas la teinture de gaïac additionnée de HO^2. Toutes les membranes muqueuses que j'ai examinées jusqu'ici se comportent comme la caillette; je ne citerai que la vessie du porc.

Avant d'entreprendre l'explication des phénomènes dont je viens de parler, je veux mentionner une action catalytique particulière, sinon à toutes ces matières, au moins à un grand nombre d'entre elles. J'ai constaté

(1) *Revue des cours scientifiques* du 21 octobre 1865.

Digitized by Google

déjà, il y a plusieurs années, que tous les métaux nobles ont la propriété de modifier l'oxygène ordinaire de manière à lui faire produire avec la dissolution alcoolique de gaïac une combinaison bleue, identique avec celle que forme avec cette résine l'ozone libre ou combiné; j'ai conclu de ce fait que l'oxygène inactif s'ozonise sous l'influence de ces métaux. Le mercure, par suite de son état liquide, est le métal le plus convenable pour répéter cette expérience; il suffit de mélanger environ 50 grammes de ce métal avec un poids égal de teinture de gaïac récemment préparée et d'agiter ce mélange en présence de l'oxygène pur ou de l'oxygène atmosphérique pour voir la dissolution de résine se colorer en bleu foncé.

Il résulte de mes observations qu'un assez grand nombre de matières végétales qui décomposent le peroxyde d'hydrogène possèdent cette propriété de bleuir la teinture de gaïac en présence de l'oxygène. Plusieurs chimistes, parmi lesquels je ne citerai que Blanche et Teddei, ont observé que la teinture de gaïac bleuit au contact de l'air, lorsqu'on la laisse tomber goutte à goutte sur les branches de certaines racines ou de certains tubercules, tels que ceux du *Leontodon taraxacum*, du *Solanum tuberosum*, du *Colchicum autumnale*, etc. Ces mêmes chimistes ont aussi mentionné ce fait, que la résine de gaïac se colore en bleu lorsqu'on la broie avec du gluten frais en présence de l'air. J'ai moi-même fait voir que les stipes et les chapeaux de certains champignons qui, comme le *Boledus lucidus*, par exemple, bleuissent à l'air libre lorsqu'on le casse, renferment à la fois une résine analogue à la résine de gaïac et une substance soluble dans l'eau et douée de la propriété d'absorber l'oxygène ordinaire et de le modifier de manière à lui permettre de bleuir la teinture de gaïac comme l'ozone et les ozonides. La teinture de gaïac bleuit très-rapidement lorsqu'on la verse sur les stipes ou sur les chapeaux de champignons qui ne subissent aucun changement de couleur à l'air lorsqu'on les casse en deux. De ces réactions et de quelques autres phénomènes de ce genre j'ai conclu que ces champignons renferment des substances solubles dans l'eau et capables d'ozoniser l'oxygène.

Mes expériences plus récentes ont fait voir que dans toutes les plantes, dont certaines parties, ou les extraits aqueux de ces parties, bleuissent la teinture de gaïac en présence de l'air, on trouve des substances possédant, comme les métaux nobles, la propriété de catalyser le peroxyde d'hydrogène. Lorsqu'une partie quelconque d'une plante jouit de la propriété de bleuir à l'air la dissolution pure de gaïac, on peut en conclure la présence d'une matière organique qui, comme le platine, décompose HO^2.

La pelure de pomme de terre, les racines fraîches, les pétioles, les feuilles et les fleurs du *Leontodon taraxacum*, du *Senecio vulgaris*, de la *Lactuca sativa*, se distinguent surtout par leur propriété de produire une coloration bleue très-foncée lorsqu'on les écrase et qu'on les arrose avec de la teinture de gaïac. Lorsqu'on broie la pelure de pomme de terre ou les feuilles, les pétioles, etc., du *Leontodon taraxacum* avec un peu d'eau et qu'on en exprime le jus, on obtient un liquide possédant de même la propriété de bleuir la teinture de gaïac; ce liquide perd cette propriété au bout de quelques heures, tout en conservant la propriété de bleuir la teinture additionnée de HO^2, propriété qu'il perd au bout d'un temps plus long. Il est curieux de voir que ces extraits aqueux prennent une couleur de plus en plus foncée à mesure qu'ils perdent la propriété de bleuir la teinture de gaïac; ce changement est surtout très-visible pour les extraits de pelure de pomme de terre ou de feuilles de *Leontodon*.

Il est hors de doute que la propriété que possèdent ces extraits de bleuir la teinture de gaïac tient à ce qu'ils renferment de l'ozone, et il est probable que cet ozone provient d'une transformation de l'oxygène de l'atmosphère sous l'influence des matières végétales capables de catalyser l'eau oxygénée. Lorsqu'on abandonne un tel extrait à lui-même au lieu de le mettre en contact avec de la résine de gaïac, l'ozone ⊖ qu'il contient agit sur la matière douée de propriétés catalytiques et la détruit, ainsi que cela résulte de ce fait qu'un tel extrait perd peu à peu la propriété de décomposer le peroxyde d'hydrogène ou de bleuir la teinture de gaïac additionnée de HO^2. D'autres substances s'oxydent probablement dans les mêmes circonstances et leur couleur varie en même temps que leur composition chimique; en effet ces extraits aqueux prennent une couleur plus foncée (1).

On sait très-bien que la plupart des tissus végétaux mis à nu par une action mécanique brunissent assez rapidement au contact de l'air; cette coloration que l'on constate facilement en écrasant une pomme ou en la coupant en morceaux, est due à l'oxydation d'une substance quelconque contenue dans ce fruit. Or, d'après mes expériences, le parenchyme des pommes fraîches contient une substance jouissant de la propriété de catalyser assez rapidement le peroxyde d'hydrogène et de bleuir la teinture de gaïac. Cette dernière propriété nous prouve que la substance dont il s'agit transforme l'oxygène inactif O, avec lequel elle se trouve en contact, en ozone ⊖, qui produit la coloration brune en oxydant une matière végétale quelconque contenue dans le fruit.

Je considère comme très-probable l'hypothèse d'après laquelle les actions chimiques qui se produisent si rapidement sur différentes parties d'un grand nombre de plantes, lorsqu'elles sont mises à nu par une action mécanique, seraient produites par les substances qui décomposent le peroxyde d'hydrogène de la même manière que le platine et qui, de même que ce métal, possèdent la propriété de communiquer à l'oxygène ordinaire l'activité chimique de l'ozone.

Nous avons vu, dans ce qui précède, que toutes les substances organiques qui catalysent le peroxyde d'hydrogène perdent cette propriété lorsqu'on les chauffe à la température de l'eau bouillante. Elles perdent en même temps la faculté de bleuir la teinture de gaïac seule, et par conséquent la propriété d'exciter l'activité chimique de l'oxygène ordinaire. Nous pouvons, d'après cela, nous expliquer pourquoi les matières végétales ou animales ne présentent plus, après avoir été chauffées, les phénomènes de décomposition si rapides que nous constatons lorsqu'elles sont fraîches et qu'elles ont subi une lésion.

Nous venons de voir que dans le règne végétal et dans le règne animal on trouve une foule de substances capables de décomposer le peroxyde d'hydrogène en eau et en oxygène ordinaire; je crois que nous pouvons maintenant examiner les relations qui existent entre ce fait général et les différents phénomènes catalytiques.

On sait qu'un grand nombre de substances végétales

(1) J'ai fait voir dans un mémoire communiqué à la Société des sciences naturelles de Bâle, que les nitrites et les nitrates qui se présentent si souvent dans les plantes peuvent produire des oxydations analogues.

Digitized by Google

jouissent de la propriété de transformer certaines matières organiques en d'autres substances, par une simple action de présence et sans intervenir dans la réaction par leurs parties constituantes. La levûre de bière décompose le sucre de raisin en alcool et en acide carbonique; l'émulsine transforme l'amygdaline en glycose, en essence d'amandes amères et en acide prussique; la myrosine décompose le myronate de potasse en huile volatile de moutarde, en glycose, en sulfate de potasse et en soufre; nous devons la connaissance de cette dernière réaction aux beaux travaux de M. Will. D'autres substances organiques possèdent la propriété inverse, celle de déterminer par influence certaines substances à entrer en combinaison chimique : sous l'influence du contact de la diastase ou de la salive, l'amidon et l'eau se combinent pour former de la glycose. Il résulte de mes recherches sur ce sujet que le gluten et l'émulsine produisent le même effet. Toutes les substances qui agissent comme ferments ou produisent des actions catalytiques, possèdent la propriété de décomposer le peroxyde d'hydrogène de la même manière que le platine; l'existence simultanée de propriétés si différentes est très-remarquable et nous fait supposer que ces différentes réactions sont dues à une seule et même cause. Cette hypothèse est d'autant plus plausible que l'expérience nous a montré que la disparition d'une de ces propriétés entraîne celle de toutes les autres. Lorsqu'on chauffe par exemple la myrosine, l'émulsine, la levûre de bière, la diastase, etc., à la température de l'eau bouillante, elles perdent, non-seulement la propriété de décomposer le myronate de potasse, l'amigdaline, la glycose ou de transformer l'amidon et l'eau en sucre de raisin, mais elles deviennent en même temps incapables de catalyser le peroxyde d'hydrogène.

Si l'on peut admettre que les transformations que je viens de citer sont dues à la même cause que la catalyse du peroxyde d'hydrogène, on pourra de même considérer cette catalyse comme un phénomène du même genre que la décomposition de la glycose en alcool et en acide carbonique, c'est-à-dire comme une véritable fermentation dans laquelle le peroxyde d'hydrogène jouerait le rôle du sucre et le platine celui de la levûre de bière. On sait que Berzelius a comparé la décomposition de de l'eau oxygénée par les métaux à la fermentation alcoolique de la glycose, sans toutefois donner une explication plus approfondie de ces phénomènes.

En partant de cette hypothèse, que la décomposition du peroxyde d'hydrogène en eau et en oxygène ordinaire dans les conditions dont avons parlé, est due à une cause semblable à celle qui produit la décomposition de la glycose en alcool et en acide carbonique, nous pouvons, connaissant la cause qui produit l'un de ces phénomènes, déterminer celle qui produit le second ou au moins faire quelques suppositions sur sa nature. Mais, à mon avis, l'ensemble des phénomènes de fermentation est encore une énigme pour nous; le chimiste doit donc accueillir avec la plus grande satisfaction toutes les indications qui promettent, d'une manière ou d'une autre, de nous rendre plus accessible l'explication de ces mystérieux phénomènes.

Les résultats des mes recherches les plus récentes n'ont fait que me confirmer dans l'hypothèse que j'ai émise déjà à plusieurs reprises et qui consiste à considérer la décomposition du peroxyde d'hydrogène sous l'influence du platine comme le type de tous les phénomènes de fermentation. Je suis donc naturellement porté à étendre l'explication que j'ai donnée de ce phénomène, à tous les phénomènes catalytiques. Je me suis efforcé à plusieurs reprises de démontrer que la catalyse du peroxyde d'hydrogène sous l'influence du platine consiste en une modification allotropique que ce métal fait subir au deuxième équivalent d'oxygène de ce peroxyde. Quel que soit le changement éprouvé par cet oxygène, il est toujours certain que toute modification subie par cet élément entraîne la décomposition de l'eau oxygénée; il suffira donc d'examiner si l'hypothèse des différents états allotropiques de l'oxygène est justifiée par l'expérience. J'ai depuis longtemps résolu cette question affirmativement et expliqué par des changements allotropiques de l'oxygène, non-seulement la décomposition de l'eau oxygénée, mais encore la décomposition d'une foule de substances oxygénées sous l'influence des agents impondérables, chaleur, lumière, électricité (thermo-, photo-, électrolyse).

Mais si j'attribue à l'oxygène différents états allotropiques, je dois considérer comme possibles des modifications analogues dans d'autres corps simples, et cela d'autant plus facilement, que nous connaissons une série de phénomènes qui nous prouvent que le carbone, le phosphore, etc., peuvent se présenter sous différents états allotropiques. Nous pouvons même constater que l'activité chimique de ces corps change plus ou moins avec leurs différents états. Si maintenant un ou plusieurs des éléments qui entrent dans la composition d'une matière organique pouvaient prendre différents états allotropiques et passer de l'un de ces états à l'autre, comme l'oxygène, cette matière subirait une modification isomérique ou se séparerait en divers composés dès que, sous l'influence d'un agent quelconque, l'un ou l'autre de ses éléments passerait d'un état allotropique à un autre. En effet, ce passage d'un état à l'autre, modifierait l'équilibre primitif des actions chimiques de tous les éléments qui se trouvent en présence dans la substance organique.

Quant aux matières organiques sous l'influence desquelles certaines substances, l'amidon et l'eau par exemple, se combinent chimiquement, elles ont, sous ce rapport, beaucoup d'analogie avec le platine qui détermine l'oxygène ordinaire à se combiner, déjà la température ordinaire, avec l'hydrogène, pour former de l'eau. Le platine donne naissance à d'autres oxydations; ainsi il transforme l'alcool en acide acétique, réaction que l'oxygène seul ne peut pas produire. La propriété que possède le platine de décomposer HO + ⊕ en HO et O, est intimement liée à la propriété dont il jouit, de combiner H avec O pour former de l'eau. Or, d'après mon hypothèse, larelation qui existe entre ces deux phénomènes tient à ce que le platine a la propriété de transformer en ozone ⊖, l'antozone ⊕ de l'eau oxygénée HO + ⊕ et l'oxygène ordinaire O; dans l'un des cas il se produit une décomposition, dans l'autre une combinaison.

On peut comparer à la synthèse précédente la formation de la glycose par la combinaison de l'eau et de l'amidon sous l'influence du contact de la diastase et de la salive. L'amidon et l'eau sont tout aussi incapables de se combiner à eux seuls, que l'oxygène ordinaire et l'hydrogène à une basse température; il semblerait, en effet, que l'amidon en prenant de l'eau devrait se transformer en dextrine, qui en est isomère, avant de former avec cette eau la combinaison sucrée. On pourrait peut-être conclure de là que l'amidon est modifié par la diastase et la salive, à peu près comme l'oxygène ordinaire l'est par le platine.

Une autre analogie frappante qui existe entre l'action du platine et celle d'un grand nombre de substances organiques consiste en ce que, de même que le platine, ces

Digitized by Google

substances produisent la combinaison tout aussi bien que la décomposition de certaines matières. Ainsi, l'émulsine décompose l'amygdaline et détermine d'un autre côté l'amidon et l'eau à se combiner pour former un sucre comme cela résulte de mes expériences; la levûre de bière décompose le sucre de raisin en alcool et en acide carbonique, de même qu'elle détermine le sucre de canne à se combiner avec l'eau pour former du sucre de raisin.

Les développements qui précèdent me portent à considérer toutes les décompositions dont j'ai parlé, tous les changements isomériques et les combinaisons chimiques de matières organiques et inorganiques produits par l'influence de contact de certains corps, comme dus à des modifications allotropiques de l'un ou de l'autre des éléments qui entrent dans la composition de ces matières. Lorsque, par exemple, la glycose se décompose en alcool et en acide carbonique, cela tiendrait à une modification allotropique produite par l'influence de la levûre de bière sur un ou plusieurs des éléments du sucre, modification qui changerait l'équilibre primitif des forces chimiques à un tel point que les éléments composants ne formeraient plus la même combinaison, pas plus que l'eau oxygénée placée sous l'influence de contact du platine ne saurait rester à l'état de peroxyde d'hydrogène. Dans ces circonstances, HO^2 se décompose en eau et en oxygène ordinaire; de même la glycose se décompose en alcool et en acide carbonique.

On voit que les considérations sur lesquelles je fonde mes vues quant à la cause des phénomènes catalytiques diffèrent considérablement des hypothèses chimiques ordinaires. Pour nos chimistes, l'idée d'élément entraîne naturellement celle de corps simple invariable; aussi regardent-ils toute réaction chimique comme une combinaison de petites particules considérées comme invariables ou bien comme une séparation de ces mêmes particules. Cette manière de voir force de chercher toujours la cause des combinaisons ou des décompositions chimiques en dehors de la nature même des substances qui entrent en réaction; on voit cette cause dans des attractions ou des répulsions, c'est-à-dire dans les mouvements dont s'animent les particules des corps sous l'influence de la chaleur, de la lumière et de l'électricité. On ne pense pas que la cause première de certaines combinaisons ou décompositions chimiques puisse être un simple changement d'état subi par les particules composantes des éléments qui entrent en jeu. Quant à moi, je crois que dans les phénomènes chimiques on peut trouver autre chose que de simples juxtapositions, séparations, éliminations et doubles décompositions se produisant entre atomes de même nature ou de natures différentes. Il n'y a rien d'étonnant à ce que mes idées sur ce sujet s'éloignent des idées généralement reçues, puisque notre théorie atomique n'est qu'une hypothèse et est bien loin de nous donner une explication suffisante de l'ensemble des phénomènes qui se présentent dans le domaine de la chimie.

Je terminerai par quelques remarques sur l'importance physiologique du fait général que nous avons constaté, savoir la présence continuelle dans le règne végétal et dans le règne animal d'une infinité de substances douées de propriétés catalytiques. Il me paraît impossible de voir dans ce fait général un pur effet de hasard.

L'expérience nous apprend que tous les ferments connus jouissent de la propriété de décomposer, comme le platine, le peroxyde d'hydrogène; elle nous enseigne de plus que lorsque ces substances perdent leur propriété de produire des fermentations, elles perdent par le fait même celle de catalyser HO^2. De l'existence et de la disparition simultanées de ces propriétés, nous pouvons conclure que ces deux genres de propriétés sont dus à une seule et même cause; aussi nous dirons que la levûre de bière transforme la glycose en alcool et en acide carbonique pour la même raison qu'elle décompose le peroxyde d'hydrogène en eau et en oxygène, quelle que soit d'ailleurs la cause de ce dernier phénomène. De plus, il est probable que toute substance organique qui jouit de la propriété de décomposer le peroxyde d'hydrogène, comme le platine, possède aussi la propriété de produire d'autres actions catalytiques sur des substances animales ou végétales, ainsi que cela arrive pour la myrosine, l'émulsine, etc. Comme on trouve dans les règnes végétal et animal une foule de substances capables de catalyser le peroxyde d'hydrogène, on est naturellement conduit à supposer que toutes ces substances sont de véritables ferments, c'est-à-dire des substances douées de la propriété d'agir catalytiquement sur les matières organiques soumises à leur influence.

On a déjà souvent émis la supposition qu'un grand nombre des phénomènes chimico-physiologiques qui se présentent dans les règnes végétal et animal sont dues à des causes analogues à celles qui produisent les fermentations; mais jusqu'ici on manquait de preuves expérimentales à l'appui de cette hypothèse. A mon avis, cette profusion de substances douées de propriétés catalytiques qu'on rencontre dans les règnes végétal et animal est favorable à cette hypothèse et conduit à supposer qu'un grand nombre des modifications qui se produisent dans l'organisme vivant ont pour causes des actions analogues à celles qui produisent la transformation de la glycose en alcool et en acide carbonique au contact de la levûre de bière, la transformation de l'amidon en gomme sous l'influence de la diastase, et celle de la glycose par la combinaison de l'amidon et de l'eau au contact de la salive, etc.

La présence, dans la semence de toutes les plantes que j'ai examinées, d'une matière douée de la propriété de catalyser le peroxyde d'hydrogène, me paraît avoir une très-grande importance au point de vue de la chimie physiologique. Cette propriété commune à tous les ferments nous conduit à supposer que la matière qui en est douée dans les semences, joue un rôle considérable dans la germination, c'est-à-dire qu'elle donne naissance aux modifications chimiques qui accompagnent ce phénomène. Cette supposition passe à l'état de vérité démontrée lorsqu'on observe que toutes les semences perdent leurs propriétés germinatives chaque fois, que pour une raison ou pour une autre, elles perdent la faculté de catalyser HO^2 ou de bleuir la teinture de gaïac en fermentant.

Ce fait ayant à mes yeux une grande importance dans la question précédente, je vais indiquer un moyen de priver toutes les matières organiques de leur propriété de catalyser le peroxyde d'hydrogène; ce moyen consiste à les traiter par l'acide sulfhydrique. Lorsqu'on ajoute des quantités relativement très-petites d'eau chargée d'hydrogène sulfuré à des extraits aqueux, récemment préparés, de pelure depomme de terre, de feuilles de *Leontodon taraxacum*, de moutarde noire, etc., qui ont la propriété de dégager des quantités appréciables d'oxygène ordinaire lorsqu'on y ajoute de l'eau oxygénée et qui bleuissent la teinture de gaïac pure ou additionnée de HO^2, ils perdent instantanément ces propriétés, absolument comme si on les avait chauffés à 100 degrés. Lorsqu'on laisse séjourner dans une atmosphère chargée d'hydrogène sulfuré une portion de plante contenant des matières douées de la propriété de catalyser HO^2, par exem-

Digitized by Google

ple des feuilles de *Leontodon* ou de la pelure de pomme de terre, elles perdent leurs propriétés catalytiques : on ne voit plus de petites bulles de gaz se dégager sur les feuilles ainsi traitées, lorsqu'on les plonge dans de l'eau oxygénée, et elles ont perdu de même la propriété d'ozoniser l'oxygène ordinaire, c'est-à-dire de bleuir la teinture de gaïac pure.

Quelle que soit maintenant la cause de la destruction des propriétés catalytiques de ces matières, il est certain que si elles jouent dans la germination le rôle important que je leur prête, on doit pouvoir empêcher une semence de germer en l'exposant pendant un temps suffisant à l'influence de l'hydrogène sulfuré. C'est ce qui arrive effectivement. De la graine de pavot exposée pendant quarante-huit heures à l'action de l'hydrogène sulfuré, perd complétement ses propriétés germinatives; elle ne bleuit plus la teinture de gaïac additionnée de HO^2 lorsqu'on en projette quelques gouttes de celles-ci sur une certaine quantité de cette graine préalablement broyée avec un peu d'eau. La semence de pavot perd de même ses propriétés germinatives lorsqu'on la laisse plongée pendant quelque temps dans de l'eau chargée d'hydrogène sulfuré. Il résulte de ces faits qu'une graine perd sa propriété de germer en même temps qu'elle perd sa faculté de catalyser le peroxyde d'hydrogène; on peut conclure de là que l'activité catalytique de la semence joue un rôle actif dans la germination.

Nous venons de rappeler que toutes les matières organiques douées de la propriété de décomposer le peroxyde d'hydrogène de la même manière que le platine, perdent cette propriété à la température de l'ébullition de l'eau; on sait aussi que dans ces conditions les semences perdent leur faculté de germer. Ce nouveau fait plaide en faveur de l'hypothèse d'après laquelle ce serait la matière douée de propriétés catalytiques qu'on rencontre dans la semence de toutes les plantes qui produirait les premiers phénomènes de la germination. Cette hypothèse me semble expliquer aussi l'observation de M. Fritz Burckhardt et qui prouve que des semences soumises à une température de 60 degrés ne peuvent plus germer.

On peut regarder comme démontrée la nécessité de la présence de l'oxygène pendant la germination; comme ce phénomène physiologique est accompagné d'ailleurs d'un dégagement d'acide carbonique, on peut en conclure qu'il se produit des oxydations dans la première période de la germination. Mais l'oxygène atmosphérique qui entoure la graine est à l'état inactif; il doit donc tout d'abord passer à l'état d'oxygène actif avant de pouvoir agir comme un oxydant sur un élément quelconque de la graine. Je crois que le rôle principal des matières catalysantes qui se trouvent dans toutes les semences, consiste à exciter l'activité chimique de l'oxygène et par suite à agir comme le platine. J'ai en effet trouvé un assez grand nombre de semences bleuissant plus ou moins la teinture de gaïac pure qu'on y ajoutait après les avoir broyées avec un peu d'eau; sous ce rapport la semence du salsifis noir se distingue parmi toutes les autres. Cette propriété est en relation intime avec la faculté que possèdent ces substances, d'ozoniser l'oxygène ordinaire.

L'expérience nous prouve que le platine a la double propriété de catalyser le peroxyde d'hydrogène et de donner à l'oxygène ordinaire l'activité chimique de l'ozone. On peut conclure de là que toute matière organique douée de la première de ces propriétés possède aussi la seconde à un degré plus ou moins prononcé. Comme il résulte de mes recherches que toutes les semences décomposent HO^2 de la même manière que le platine, il est permis de supposer que les parties de la semence jouissant de cette propriété catalytique sont aussi celles qui déterminent les phénomènes d'oxydation accompagnant la fermentation, en ozonisant l'oxygène inactif de l'air.

Nous avons dit plus haut qu'on trouve des matières douées de propriétés catalytiques, non-seulement dans les graines, mais aussi dans les racines, c'est-à-dire dans l'organe le plus indispensable à l'existence et à l'entretien de la plante. Nous rencontrons de même ces substances dans les autres organes de la plante dans lesquels s'accomplissent des phénomènes importants, c'est-à-dire dans lesquels s'élaborent ou s'assimilent des matières organiques; on en trouve, par exemple, dans l'écorce fraîche des troncs d'arbres ou des branches, dans les fleurs, etc. Certainement, ce n'est pas là un fait accidentel sans signification physiologique.

Comme les substances qui agissent sur le peroxyde d'hydrogène de la même manière que le platine sont très-répandues dans le règne végétal et dans le règne animal, elles doivent jouer dans l'un et l'autre de ces règnes un rôle chimico-physiologique important, c'est-à-dire contribuer activement aux transformations chimiques innombrables qui se produisent constamment dans l'organisme animal. Nous avons vu dans une leçon précédente que les globules sanguins possèdent au plus haut degré des propriétés de ce genre.

Je terminerai cette leçon en faisant remarquer que les phénomènes que j'ai passés en revue ont une importance théorique capitale et indépendante de l'hypothèse que j'ai émise sur les actions catalytiques, car ces phénomènes ont trait aux questions les plus élevées de la chimie. Ils frapperont surtout l'attention des physiologistes, et cela d'autant plus que ce sont eux qui doivent sentir le mieux combien nos connaissances sont incomplètes sur tout ce qui regarde les influences qui président aux transformations et à la production des matières organiques; les phenomènes les plus simples du règne animal et du règne végétal sont encore fort peu compris.

Les résultats des recherches que nous faisons dans nos laboratoires sur les matières organiques, peuvent de temps en temps jeter un peu de lumière sur la manière dont s'accomplissent les phénomènes chimiques dans l'organisme vivant; il me semble cependant que, dans la plupart des cas, les réactions auxquelles le chimiste soumet ces substances sont tellement violentes en comparaison de celles qui ont lieu dans les plantes et dans les animaux, que l'on ne peut que dans des cas extrêmement rares se fonder sur les réactions du laboratoire pour juger de ce qui se passe dans la nature vivante. Trop souvent, hélas, on peut appliquer aux travaux qui nous ont coûté le plus de peine, ce vers du poëte :

Zum Teufel ist der Spiritus, das Phegma nur geblieben (1).

Nous devons donc nous appliquer à trouver des méthodes d'expérimentation plus convenables que celles que nous avons suivies jusqu'ici dans les phénomènes si subtils qui s'accomplissent dans le règne animal et dans le règne végétal.

Traduit sur le texte allemand de SCHOENBEIN,

par FELTZ.

(1) L'esprit est au diable, la matière seule est restée.

Digitized by Google

MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE.

PHYSIQUE VÉGÉTAL (1).

COURS DE M. GEORGES VILLE.

IX.

Assimilation de l'azote par les plantes; rôle de l'ammoniaque atmosphérique.

Pendant toute la durée de la germination, les végétaux vivent aux dépens de la substance de la graine, ils n'empruntent rien ni à l'air ni au sol. Mais leurs conditions d'existence changent dès que la germination est achevée et que, parvenus à l'état de végétaux parfaits, ils sont pourvus de feuilles et de racines. Alors, il ne reste plus rien de la graine, et la jeune plante s'alimente désormais aux seule dépens de l'air et du sol.

Vous vous souvenez que les éléments dont se composent les plantes sont au nombre de quatorze et sont divisés en deux catégories : éléments organiques et éléments minéraux. Nous terminerons la première partie de ce cours par l'étude de l'assimilation du carbone, de l'oxygène, de l'hydrogène et de l'azote, qui forment la première de ces catégories, renvoyant à la seconde partie du cours tout ce qui concerne le rôle et l'assimilation des éléments minéraux.

L'origine de l'azote dans les végétaux est un point fondamental de la science agricole, autant par l'importance des questions théoriques qui s'y rattachent que par la gravité et l'étendue des intérêts économiques qui en dépendent.

L'azote est assimilé par les végétaux sous des formes très-dissemblables, que l'on peut ramener cependant aux trois suivantes : 1° les nitrates (AzO^5MO); — 2° l'ammoniaque (AzH^3); — 3° l'azote gazeux. — L'azote, sous ces trois états, ne convient pas au même degré à tous les végétaux indistinctement. Les uns ont besoin de trouver dans le sol des nitrates, des sels ammoniacaux ou des matières organiques azotées, et ne prospèrent qu'à ce prix, tandis que ces produits sont sans action, s'ils ne sont pas décidément nuisibles, sur d'autres plantes pourvues de la faculté d'absorber de préférence l'azote à l'état de gaz.

Bien que l'azote n'entre dans la composition des végétaux qu'en faible proportion, par rapport aux autres éléments organiques, il y remplit cependant un rôle de premier ordre, car il assure la formation des principes albuminoïdes qui exercent une si grande influence sur toutes les réactions dont le végétal est à la fois le siége et le produit.

A peine sorti des enveloppes de la graine, l'embryon emprunte de l'azote à l'air. Je vous ai montré, dans la dernière séance, que ce fait, établi par Théodore de Saussure et vérifié à quarante ans de distance par M. Boussingault, ne peut pas être contesté. A mesure que la plante s'accroît, elle en fixe des quantités plus fortes, si bien que l'azote des récoltes excède toujours de beaucoup l'azote des semences et même celui des engrais. D'où provient l'azote en excès, qui atteint quelquefois des proportions énormes ? Telle est la question que nous devons résoudre.

Mais avant d'entrer dans la discussion des expériences et des théories qui s'y rapportent, commençons par établir le fait dans toute sa généralité, et, pour éloigner jusqu'à l'éventualité d'une contestation, empruntons à M. Boussingault les chiffres qui l'attestent, bien qu'ils soient fort au-dessous de ceux que nous fournirait la culture intensive.

BALANCE ENTRE L'AZOTE DES RÉCOLTES ET CELUI DES ENGRAIS.

		SUR UN HECTARE. Récolte sèche.	Azote contenu.
		k.	k.
ASSOLEMENT DE TROIS ANS AVEC JACHÈRE	1° Froment	4198	43,7
	2° Froment	4198	43,7
	3° Jachère	»	»
	Total		87,4
	Fumier	4140	82,8
	Excédant total		4,6
	Excédant annuel		1,53
		k.	k.
ASSOLEMENT DE CINQ ANS.	1° Pommes de terre	3772	62,1
	2° Froment	3406	35,4
	3° Trèfle	4029	84,6
	4 Froment	4208	43,8
	4 Navets dérobés	716	12,2
	5° Avoine	2347	28,4
	Total		266,5
	Fumier sec	10161	203,2
	Excédant total		63,3
	Excédant annuel		12,66
		k.	k.
ASSOLEMENT DE QUATRE ANS.	1° Pommes de terre	2753	44,0
	1° Betteraves	3028	67,9
	2° Froment	4413	47,1
	3° Trèfle	6320	132,7
	4° Froment	4413	47,1
	Total		338,7
	Fumier sec	9108	182,1
	Excédant total		156,7
	Excédant annuel		39,17
		k.	
CULTURE FORESTIÈRE.	Hêtre	3095	Azote fixé annuellement. 33k
	Chêne	166	
	Bouleau	35	
	Fagots mêlés	258	
		k.	k.
CULTURE CONTINUE DES TOPINAMBOURS.	Topinambours racines	5500	88,0
	Tiges et feuilles	12281	49,0
	Total		137,0
	Azote de l'engrais		94,0
	Excédant annuel		43,0
		k.	k.
CULTURE CONTINUE DE LA LUZERNE.	1re année	3360	79
	2e année	10080	237
	3e année	12500	294
	4e année	10080	237
	5e année	8000	188
	Total		1035
	Azote fixé annuellement		207 (1)

Avant de pousser plus loin l'examen de ces résultats, commençons par les ramener à leur véritable valeur. Les récoltes contiennent plus d'azote que les engrais; mais vous remarquerez que les excédants inscrits dans

(1) Voy. les nos 32, 36, 38, 39, 44, 46, 48 et 51 de la 2e année.

(1) Les rendements rapportés par M. Boussingault sont, en général, de 30 à 50 pour 100 inférieurs à ceux que j'obtiens moi-même au champ d'expériences de Vincennes.

Digitized by Google

le tableau qui précède sont loin d'exprimer ce que la végétation a dû puiser à la source inconnue qu'il s'agit de découvrir. En effet, il s'en faut de beaucoup que la totalité de l'azote contenu dans les engrais soit utilisée par les cultures. Il s'en perd au moins de 30 à 50 pour 100 par les eaux pluviales et par les exhalaisons gazeuses qui émanent du sol. Si l'on fait subir aux résultats qui précèdent cette correction nécessaire, on trouve que la quantité d'azote dont la fumure ne peut rendre compte est au moins double de celle que nous venons de rapporter. Toutefois, pour conserver à la discussion plus de simplicité, nous ne changerons rien à ces résultats.

D'où vient l'excédant d'azote accusé par les récoltes? Voilà le point qu'il s'agit de mettre dans une complète et irrésistible évidence. M. Boussingault, qui a soutenu tour à tour le pour et le contre sur cette question, l'attribue aujourd'hui à l'ammoniaque et aux nitrates que l'atmosphère renferme en quantités presque insaisissables. Quant à moi, je le rapporte au contraire à l'azote même de l'air, et je prétends que ni l'ammoniaque ni les nitrates de l'atmosphère ne jouent un rôle appréciable dans l'économie végétale. Il s'agit de décider entre ces deux opinions, dont l'une est forcément la négation de l'autre.

Le problème étant ainsi posé, vous comprendrez sans peine comment j'ai été amené à m'occuper du dosage de l'ammoniaque que renferme l'atmosphère. J'ajouterai même que pour que la discussion à laquelle nous allons nous livrer nous conduise à des conclusions inébranlables, il est nécessaire de résoudre avant tout cette première question : A combien s'élève la quantité d'ammoniaque contenue dans l'air?

Il faut donc suspendre un moment l'histoire des phénomènes qui se rattachent à l'origine de l'azote dans les végétaux, et résoudre, par des expériences sans appel, la question de l'ammoniaque atmosphérique dont on a singulièrement exagéré l'importance dans ces derniers temps, et dont le rôle s'évanouit lorsqu'on substitue à de vagues allégations des faits exacts et précis.

Au commencement de ce siècle, Théodore de Saussure avait observé que le sulfate d'alumine, exposé à l'air, se change peu à peu en sulfate double d'alumine et d'ammoniaque (1). L'attention des savants ayant été ainsi appelée sur la présence de l'ammoniaque dans l'air, on a essayé à plusieurs reprises de déterminer combien l'air contient de cette alcali. La première de ces tentatives est due à M. Graeger, pharmacien à Mulhouse, la seconde à M. Kemp, chimiste irlandais, et la troisième à M. Fresenius, de Wiesbaden.

Dans un million de kilogrammes d'air il y aurait :

		k.
D'après M. Graeger		0,333 d'ammoniaq.
D'après M. Kemp		3,880
D'après M. Fresenius	air diurne	0,098
	air nocturne	0,169

Le désaccord que présentent ces résultats trouve son explication dans les causes d'erreurs inhérentes aux méthodes auxquelles les opérateurs ont eu recours.

M. Graeger a opéré sur 1112 litres d'air. L'air passait dans de l'acide chlorhydrique étendu. La liqueur était évaporée au bain-marie, et l'ammoniaque dosée à l'état de bichlorure de platine ammoniacal. Le précipité était recueilli et pesé sur un filtre de papier desséché à 100 degrés. Il s'est élevé, dans l'expérience de M. Graeger, à $0^{gr},006$. Il y a dans cette expérience trois causes d'erreurs contre lesquelles ce savant ne s'est pas mis en garde : 1° l'air tient en suspension des quantités notables de poussières qui réagissent sur le bichlorure de platine. Si elles sont de nature minérale, elles forment des combinaisons insolubles dont le poids s'ajoute à celui du bichlorure de platine ammoniacal, et exagère le résultat du dosage. Si elles sont de nature organique, elles réduisent une petite quantité de bichlorure de platine et faussent encore le résultat dans le même sens. 2° Lorsqu'on évapore une dissolution acide de bichlorure de platine, il se forme toujours un précipité : il est dû à l'ammoniaque que les réactifs peuvent contenir, à la réduction partielle d'une petite quantité de bichlorure de platine et à la présence d'une petite quantité d'alcalis enlevée par l'acide chlorhydrique au verre des appareils. 3° Enfin, lorsqu'on pèse un précipité de bichlorure de platine et d'ammoniaque sur un filtre de papier, on ne peut pas répondre d'une augmentation de poids de 1 à 2 milligrammes, à moins de prendre des précautions toutes particulières pour le lavage et la dessiccation, précautions dont l'auteur ne parle pas.

M. Kemp a suivi un autre procédé; il a dosé l'ammoniaque à l'état d'oxychloramidure de mercure. Lorsqu'on verse du carbonate d'ammoniaque dans une dissolution de bichlorure de mercure, il se forme un précipité blanc. Sous ce rapport, le bichlorure de platine est un réactif d'une grande sensibilité. Mais le précipité étant en partie soluble dans l'eau et très-soluble dans une dissolution de bichlorure de mercure, sa formation dépend des quantités réciproques de carbonate d'ammoniaque et de bichlorure de mercure qui se trouvent en présence et de l'état de concentration de la dissolution. Pour échapper à toutes ces causes d'incertitude, M. Kemp fait bouillir la dissolution de bichlorure de mercure afin de changer la nature du précipité, de le faire passer de l'état de chloramidure de mercure ($HgAzH^2,HgCl$) à celui d'oxychloramidure ($HgAzH^2,HgCl+2HgO$), sous lequel il est plus stable. Malgré ce correctif, le bichlorure de mercure ne peut servir à doser des quantités d'ammoniaque inférieures ou à peine égales à 1 milligramme, vu l'impossibilité de reconnaître si la transformation du chloramidure en oxychloramidure a été complète. Enfin M. Kemp, comme M. Graeger, ne s'est pas mis à l'abri des poussières que l'air tient en suspension.

Mieux avisé que ses devanciers, M. Fresenius s'est mis en garde contre les poussières atmosphériques en faisant passer l'air dans un tube en U rempli de coton cardé, contre le précipité que fait naître la seule évaporation des liquides en essayant les réactifs avant de s'en servir; enfin il a brûlé les filtres et dosé l'ammoniaque par le platine qui reste après la combustion. A tous ces soins, on reconnaît un analyste habitué aux recherches de précision, et la seule critique qu'on puisse adresser à M. Fresenius, c'est d'avoir opéré sur un volume d'air beaucoup trop faible. Les quantités de platine qu'il a obtenues n'ont jamais dépassé $4/10^{es}$ de milligramme, et sont descendues dans une analyse jusqu'à $0^{milligr},2$, ce qui équivaut à $0^{milligr},07$, à $0^{milligr},035$ d'ammoniaque, quantités évidemment trop faibles pour fournir des résultats dignes de confiance. En outre, dans l'évaluation du volume d'air sur lequel il a opéré, M. Fresenius n'a pas tenu compte de la pression barométrique et de la température de chaque jour. Il a pris une moyenne générale pour toute la durée de l'expérience, et a négligé la résistance que le laveur oppose au pas-

(1) Théodore de Saussure, *Recherches chimiques sur la végétation*, p. 205.

Digitized by Google

sage de l'air, et la diminution de volume qui en résulte.

A une époque plus récente, M. Is. Pierre a fait deux fois le dosage de l'ammoniaque de l'air par le procédé de M. Fresenius. Seulement, au lieu de coton cardé il s'est servi, pour arrêter les poussières, de deux toiles métalliques superposées. La prise d'air avait lieu au moyen d'un tube de plomb placé à 3 mètres au-dessus du sol et à 4 mètres d'une maison habitée. Dans une première analyse, M. Is. Pierre a opéré sur 2720 litres d'air, et, d'après lui, il y aurait dans 1 million de kilogr. d'air $3^{k},500$ d'ammoniaque. Dans une nouvelle expérience, faite de la même manière, mais en prenant l'air à $8^{m},10$ au-dessus du sol, M. Is. Pierre n'a plus trouvé que 500 grammes d'ammoniaque pour 1 million de kilogrammes d'air, c'est-à-dire sept fois moins. Aux observations que je viens de faire sur le travail de M. Fresenius, et qui s'appliquent à celui de M. Is. Pierre, j'ajouterai que l'emploi d'un tube de métal pour appeler l'air me paraît regrettable, puisque l'oxydation d'un métal peut donner lieu à une production d'ammoniaque, et que le voisinage d'une maison habitée doit produire des émanations accidentelles capables d'altérer le résultat général de l'analyse; enfin, si j'en juge par les poussières que l'air dépose sur une étendue de plusieurs centimètres lorsqu'on fait passer l'air sur du coton cardé ou des fils de verre, il me semble difficile que deux toiles métalliques suffisent pour les arrêter complétement.

Lorsqu'il s'agit de déterminer un élément de la constitution de l'atmosphère, dont les proportions sont excessivement faibles et peut-être variables, on doit s'efforcer d'opérer sur un volume d'air considérable et au moyen d'appareils d'une extrême précision; car l'utilité d'une pareille étude doit résulter de la sûreté du procédé d'analyse suivi beaucoup plus que des indications qu'on peut en obtenir dans une application locale et particulière. M. Graeger a opéré sur 1112 litres d'air, M. Kemp sur $376^{lit},27$, M. Fresenius sur $344^{lit},50$, et M. Is. Pierre, tour à tour sur 2720 litres et sur 4000 litres. Ces quantités sont trop faibles pour fournir des résultats qu'on puisse employer dans la discussion des questions agricoles. Quant à moi, j'ai exécuté seize fois le dosage de l'ammoniaque de l'air, et j'ai opéré successivement sur 20, 30 et 55,000 litres d'air. Je ne puis entrer ici dans le détail des précautions que j'ai dû prendre pour me mettre à l'abri de toutes les causes d'erreur que je viens de signaler. Vous trouverez d'ailleurs la description des appareils et des méthodes auxquels j'ai eu recours dans l'ouvrage que j'ai publié sur ce sujet en 1853. Voici un tableau où sont consignés les résultats de ces expériences :

DOSAGE DE L'AMMONIAQUE DE L'AIR, PAR M. G. VILLE.

INTÉRIEUR DE PARIS.

Année		Poids de l'air dans l'expérience. gr.	Ammoniaque trouvée milligr.	Rapport de l'ammoniaque à l'air.
1849.	1er	24437,720	0,5391	0,00000002206
	2e	24491,320	0,6161	0,00000002515
	3e	24875,200	0,6161	0,00000002476
	4e	21073,963	0,3851	0,00000001831
1850.	5e	24346,333	0,6161	0,00000002530
	6e	26014,850	0,4621	0,00000001776
	7e	24494,911	0,4621	0,00000001886
	8e	23196,400	0,7317	0,00000003161
	9e	28841,510	0,6161	0,00000002697
	10e	23669,338	0,4236	0,00000001787
	11e	26711,467	0,8472	0,00000003171
	12e	25287,606	0,6161	0,00000002436

GRENELLE (banlieue de Paris).

1852.	1er	35879,457	0,5930	0,00000001652
	2e	34637,416	0,6315	0,00000001823
	3e	40955,720	1,1168	0,00000002726
	4e	69872,797	1,5634	0,00000002237

RÉSULTATS.

Ammoniaque dans 1 million de kilogr. d'air.

		gr.
INTÉRIEUR DE PARIS	Maximum	31,71
	Minimum	17,76
	Moyenne	23,73
GRENELLE.	Maximum	27,26
	Minimum	16,52
	Moyenne	21,01

La quantité d'ammoniaque contenue dans l'air est donc, en définitive, de 16 à 32 grammes dans 1 million de kilogr. d'air. Des quantités aussi exiguës appartiennent au domaine des infiniment petits et ne peuvent se concilier avec l'importance du rôle qu'on a voulu leur attribuer. C'est donc avec une entière confiance que nous repoussons comme erroné et sans fondement le rôle qu'on attribue à l'ammoniaque de l'atmosphère.

Forcé de renoncer à l'intervention directe de l'ammoniaque de l'air dans les faits de production par les végétaux, on a essayé de la faire revivre sous une autre forme. On a prétendu que l'ammoniaque devenait active après avoir été condensée par l'eau de pluie, grâce à sa grande solubilité, et l'on ajoutait que l'une des fonctions les plus importantes de la pluie était précisément de ramener sous un faible volume les traces d'ammoniaque qui sont disséminées dans l'air, et d'assurer, par cette condensation même, leur efficacité à l'égard des végétaux. Mais cette supposition ne résiste pas davantage à un examen sérieux et un peu approfondi.

C'est à M. Boussingault lui-même que je vais emprunter les éléments de ma réfutation. On doit à ce savant une série de dosages de l'ammoniaque contenue dans l'eau de la pluie, dosages dont voici les résultats :

Eau tombée. mm.		mm.	Ammoniaque par litre. milligr.
De 0,0	à	0,5	2,94
0,5	à	1,0	1,37
0,0	à	5,0	0,70
5,0	à	10,0	0,43
10,0	à	15,0	0,43
15,0	à	20,0	0,36
20,0	à	31,0	0,41
		Moyenne...	0,50

Ces résultats prouvent d'abord que la proportion d'ammoniaque que j'ai trouvée dans l'air, malgré son exiguïté, est plutôt au-dessus qu'au-dessous de la vérité. En effet, à 15 degrés et sous la pression de 760 millimètres, 1 mètre cube d'air contient 13 grammes de vapeur d'eau, d'où il résulte que 1 kilogramme d'eau provient de 76 920 litres d'air, qui contenaient $0^{milligr},5$ d'ammoniaque. Or, 76 920 litres d'air pèsent sensiblement 100 kilogr. Il y aurait donc, à ce compte, dans 1 million de kilogr. d'air, 5 grammes d'ammoniaque.

Les analyses de M. Boussingault nous permettent, en outre, de calculer la quantité d'ammoniaque que l'eau de la pluie peut apporter sur un hectare de terre. Il tombe annuellement, aux environs de Strasbourg, 680 millimètres de pluie, ce qui donne par hectare 6800

Digitized by Google

mètres cubes d'eau contenant $0^{gr},5$ d'ammoniaque par mètre cube, soit $3^{k},400$ d'ammoniaque, qui correspond à $2^{k},800$ d'azote (1). Et l'on aurait la prétention d'expliquer ainsi l'excédant *minimum* de 43 kilogrammes accusé par la récolte des tobinambours, et l'excédant de 207 kilogrammes accusé par la luzerne !

A cela on répond, il est vrai, que l'air est le siége d'actions électriques incessantes et formidables, que les nuées orageuses agissent sur les éléments de l'air comme le pourrait faire une étincelle électrique, en déterminant la combinaison de l'azote et de l'oxygène, et que l'atmosphère devient ainsi une sorte de nitrière inépuisable. L'eau qui s'évapore à la surface des mers, des fleuves et des rivières, serait donc la cause première de la formation des nitrates dans l'air, et c'est à elle encore que serait dévolue la fonction de ramener ces sels à la surface du sol, lorsqu'elle repasse à l'état de pluie. C'est là une brillante image, qui s'évanouit, comme toutes les fictions, au premier souffle de la réalité.

L'eau de la pluie contient, il est vrai, de l'azote à l'état de nitrates, mais la dose en est bien faible: elleatteint à peine $0^{milligr},5$ d'azote par litre. Sous cette forme, la terre reçoit donc encore par hectare, dans le cours d'une année, $8^{k},400$ d'azote lesquels ajoutés à ce que fournit l'ammoniaque, forment un total de $6^{k},200$. Or, ce n'est là qu'une fraction insignifiante des quantités énormes dont nous avons à rendre compte. Toutes ces tentatives d'explication n'ont donc abouti, en définitive, qu'à démontrer l'inanité des hypothèses leur servant de point de départ.

Mais je vais plus loin. La pluie amenât-elle 20, 30, 50 kilogrammes d'azote à l'état de nitrate et d'ammoniaque, cela ne suffirait pas pour expliquer l'excédant accusé par les récoltes. Jusqu'à présent, en effet, nous avons recherché quelles sources peuvent approvisionner le sol de composés azotés et agir comme moyens naturels de fertilisation; mais nous n'avons rien dit des quantités bien autrement importantes de ces mêmes composés que le sol perd, sans profit pour les plantes, et qui doivent être défalqués de celle qu'il reçoit. Or, on doit à cet égard à M. Boussingault une observation bien précieuse, car elle suffit, à elle seule, pour renverser sans retour le système qu'il soutient aujourd'hui. Ayant eu l'idée de recueillir un jour de la neige qui avait séjourné pendant trente-six heures sur de la terre d'un jardin, et, tout à côté, de la neige tombée en même temps sur une dalle de pierre, il reconnut que l'eau provenant de la première contenait beaucoup plus d'ammoniaque que celle de la seconde :

	Ammoniaqn par litre d'eau.
	gr.
Neige recueillie sur la terre.....	0,01034
Neige recueillie sur la dalle de pierre....	0,00178

Et quant à l'origine de l'excédant d'ammoniaque accusé par la neige recueillie sur la terre, M. Boussingault déclare expressément « QU'IL EST POUR LUI DE LA DERNIÈRE ÉVIDENCE QUE CET EXCÉDANT PROVIENT DES VAPEURS ÉMISES PAR LE SOL. » Suivons les conséquences de cet aveu. Si la couche de neige avait seulement 1 centimètre d'épaisseur, chaque mètre de surface, ayant reçu l'équivalent de 10 litres d'eau, aurait donc perdu $0^{gr},0856$ d'ammoniaque en trente-six heures? Ceci porterait la perte par hectare, dans le même laps de temps, à 856 grammes, et à 208 kilogrammes d'ammoniaque, ou 172 kilogrammes d'azote dans le cours d'une année.

En présence de ce témoignage, dont je me suis bien gardé d'exagérer la gravité, que deviennent tous les calculs fondés sur la fertilisation par la pluie? Et comment ne pas s'étonner en voyant, aujourd'hui encore, des esprits vraiment éclairés supputer gravement les milligrammes de matières azotées que la pluie apporte à la terre, et passer volontairement sous silence les centaines de kilogrammes qui se perdent en moins d'une année? Nous pouvons donc conclure, en toute assurance, que ni l'ammoniaque répandue dans l'air à l'état de gaz, ni le nitrate et l'ammoniaque condensés par la pluie ne jouent un rôle appréciable dans l'économie de la production végétale.

J'éprouve en ce moment un véritable embarras, car me voici en face d'un dernier argument qui semble emprunté à la science du moyen âge, et que l'état actuel de nos connaissances m'autoriserait à passer sous silence, tant il est peu conforme aux principes les plus élémentaires d'une saine critique. L'ammoniaque et les nitrates de l'air ne suffisant pas, on m'a objecté qu'il pouvait exister dans l'atmosphère des composés azotés d'une nature inconnue auxquels on devait rapporter l'excédant d'azote contenu dans les récoltes. Une expérience bien simple et toute pratique va réduire à néant cette nouvelle hypothèse. On a institué deux cultures de froment, l'une à côté de l'autre, dans deux caisses de zinc verni de mêmes dimensions et abritées sous un même toit vitré. Un udomètre de même surface était placé à côté. Après chaque pluie, l'eau recueillie à l'udomètre était versée sur l'une des caisses, l'autre était arrosée avec un volume égal d'eau distillée. Ammoniaques, nitrates, composés azotés mystérieux et indéterminés, tout devait donc affluer dans la première caisse, et être absolument banni de la seconde. Quel fut le résultat? Les deux récoltes, venues dans des conditions si dissemblables, furent sensiblement égales et contenaient la même quantité d'azote.

Culture arrosée à l'eau de pluie.				*Culture arrosée à l'eau distillée.*			
	gr.		gr.		gr.		gr.
Semence (blé)	25	= Azote	0,60	Semence (blé)	25	= Azote	0,6
Récoltes.				*Récoltes.*			
	gr.		gr.		gr.		gr.
Paille sèche	338,7	= Azote	1,66	Paille sèche	388,7	= Azote	2,06
Graines *id.*	87,0	= Azote	2,26	Graines *id.*	88,7	= Azote	2,05
Azote total.....			3,92	Azote total.....			4,11

Vous voyez qu'en prenant l'observation la plus rigoureuse pour guide et pour loi, nous sommes arrivé, par la force irrésistible des choses, à demander à l'azote gazeux de l'atmosphère ce que l'on a vainement cherché dans l'ammoniaque, dans les nitrates et dans les composés indéterminés. Nous admettons, en effet, que l'azote de l'air est assimilé par les végétaux, que cette assimilation est une des conditions de la vie végétale et qu'elle est la base sur laquelle reposent les seules théories agricoles auxquelles on puisse se confier. Je vous citerai à l'appui de mon affirmation une pratique agricole connue de tout le monde, et dont la haute efficacité ne saurait être contestée : les fumures en vert. Dans une rotation de cinq ans comprenant : 1° pommes de terre; 2° froment; 3° trèfle; 4° froment; 5° avoine, le froment qui succède au trèfle rend plus que celui qui le précède. Cet effet ne peut s'expliquer qu'en admettant que la troi

(1) Nous raisonnons sur l'eau qui tombe annuellement aux environs de Strasbourg, parce que M. Boussingault raisonne sur les cultures de l'Alsace.

Digitized by Google

sième coupe de trèfle enfouie en vert fume la terre, et qu'elle la fume précisément parce qu'elle l'enrichit d'une partie de l'azote prélevé sur l'air.

C'est sous cet aspect que le phénomène s'est présenté à l'esprit de l'honorable M. Dumas lorsqu'il a été conduit, en qualité de commissaire de l'Académie, à s'occuper de cet important problème :

« On a été involontairement tenté de croire que l'azote demeurait » passif dans les phénomènes de la végétation, car on sait que l'azote, » pris à l'état gazeux, ne contracte de combinaisons qu'avec beaucoup » de peine. On n'avait pas suffisamment réfléchi à la facilité avec la- » quelle l'azote dissous contracte au contraire des combinaisons éner- » giques; on n'avait peut-être pas songé aux circonstances qui se pré- » sentent dans les pâturages des hautes montagnes où, chaque année, » on extrait tant d'azote par l'engrais des bestiaux et la production du » laitage, et où néanmoins l'azote ne peut guère parvenir que par l'air » atmosphérique. M. Boussingault s'était donc proposé une des plus » belles questions de la philosophie naturelle, lorsqu'il s'était demandé » si les plantes empruntent de l'azote à l'air et si elles ont le pouvoir » de s'assimiler ce gaz à toutes les périodes de leur existence. »

Après avoir décrit le procédé de M. Boussingault, qui consistait essentiellement à semer des graines dans du sable calciné, c'est-à-dire dans un sol dépourvu d'azote, l'illustre rapporteur ajoute :

« M. Boussingault a fait végéter du trèfle et du froment dans le même » appareil pendant deux ou trois mois, et il a vu que le trèfle fixe une » grande quantité d'azote, tandis que le froment n'en prend pas la » moindre trace, du moins à cette époque de sa végétation. Ainsi, il » demeure prouvé que le trèfle s'empare de l'azote de l'air, et tout » porte à croire que ce phénomène est général; si les plantes diffèrent » entre elles, c'est probablement par l'époque à laquelle elles le » fixent. »

Vous verrez combien l'expérience s'est chargée de confirmer cette prévision de l'éminent chimiste. Concluons donc avec lui, malgré les tentatives faites depuis pour atténuer cette précieuse déclaration, que l'azote gazeux de l'air est une des sources les plus importantes où les végétaux vont puiser cet élément essentiel à leur formation, et réservons pour la prochaine séance l'exposition des preuves directes qui l'établissent jusqu'à la dernière évidence.

H. Joulie, pharmacien en chef de l'hôpital Saint-Antoine.

BULLETIN DES COURS.

Collége de France.

Programme des cours scientifiques du premier semestre 1865-1866.

Mécanique céleste. — M. Serret (de l'Institut) traite des Méthodes d'analyse dont on fait usage dans les théories astronomiques, les mercredis et vendredis, à deux heures et demie.

Mathématiques. — M. Liouville (de l'Institut) traite de la Théorie des nombres, les lundis et samedis, à dix heures.

Physique générale et mathématique. — M. Bertrand (de l'Institut) traite de la Mécanique rationnelle, et particulièrement des travaux antérieurs à Lagrange, les mardis et samedis, à midi.

Physique générale et expérimentale. — M. Regnault (de l'Institut) traite de quelques parties de la Physique générale et de la Chaleur, les mercredis et vendredis, à dix heures.

Chimie. — M. Balard (de l'Institut) traite de l'Étude générale des sels, les mercredis et samedis, à midi et demi.

Chimie organique. — M. Berthelot expose la Classification générale des composés organiques et ses applications à l'analyse immédiate, les mardis et vendredis, à une heure.

Médecine. — M. Claude Bernard (de l'Institut et de l'Académie de médecine) traitera de la médecine expérimentale, les mercredis et vendredis, à midi et demi. — Ce cours s'ouvrira le 5 janvier 1866.

Histoire naturelle des corps inorganiques. — M. Ch. Sainte-Claire-Deville (de l'Institut), suppléant de M. Élie de Beaumont, traitera des Roches, au double point de vue de la nature de leurs éléments et de leurs gisements principaux, les mardis, à une heure et demie, et les vendredis, à deux heures.

Histoire naturelle des corps organisés. — M. Flourens (de l'Institut), professeur. — L'ouverture de ce cours sera annoncée par une affiche particulière.

Embryogénie comparée. — M. Coste (de l'Institut) traitera de l'Ensemble des phénomènes que les animaux présentent dans leur développement, les mardis et samedis, à une heure. — L'ouverture de ce cours aura lieu à la fin de janvier 1866.

Histoire de la médecine. — M. Dabemberg, chargé du cours, expose l'Histoire générale de la médecine depuis l'établissement de l'école de Salerne jusqu'à la fin du XVIe siècle, les mardis et vendredis, à midi et demi.

Faculté des sciences de Paris. (Premier semestre.)

Géométrie supérieure — M. Chasles expose la Théorie générale des sections coniques, et la Méthode fondée sur les deux caractéristiques d'un système du courbes. Il étendra ces considérations aux systèmes de coniques considérées dans l'espace, et aux systèmes de surfaces de second ordre. — Les mercredis et vendredis, à midi et demi.

Algèbre supérieure. — M. Duhamel traitera des infiniment Petits avant l'invention du Calcul différentiel, et montrera comment ils se sont présentés aux anciens et aux modernes. Il examinera particulièrement l'usage qu'en a fait Newton pour l'expression des Forces dans le Mouvement curviligne, et la détermination de la loi d'Attraction. Il s'occupera ensuite de la Théorie des Séries et du développement des Fonctions en Séries trigonométriques. Il terminera par quelques applications à la Physique générale. — Les lundis et mercredis, à huit heures et demie.

Calcul différentiel et intégral. — M. J. A. Serret traitera du Calcul différentiel. — Les jeudis et samedis, à neuf heures.

Mécanique rationnelle. — M. Liouville traitera de la Composition des Forces et des lois générales de l'Équilibre et du Mouvement. — Les mercredis et vendredis, à dix heures.

Astronomie. — M. Puiseux traitera de la Mécanique céleste. — Les lundis et jeudis, à dix heures et demie.

Calcul des probabilités et physique mathématique. — M. Lamé traitera de l'Optique. — Les mardis et samedis, à dix heures et demie.

Mécanique physique et expérimentale. — M. Delaunay traitera des principales machines employées dans l'industrie, et principalement des Machines motrices. — Les mardis et samedis, à midi.

Physique. — M. P. Dessains traitera de la Chaleur, du Magnétisme, de l'Électricité, de l'Électro-Magnétisme et de leurs principales applications. — Les mardis et samedis, à une heure et demie.

Chimie. — M. Balard exposera les lois générales de la Chimie; il fera l'histoire particulière des Corps non métalliques et de leurs combinaisons soit entre eux, soit avec les métaux. — Les lundis et jeudis, à midi et demi.

Zoologie, anatomie, physiologie comparée. — M. Milne Edwards traitera de l'Anatomie comparée et de la Physiologie des Animaux. — Les mardis et samedis, à trois heures et demie.

Minéralogie. — M. Delafosse, après avoir exposé les propriétés générales des Minéraux, fera l'histoire des principales espèces, et plus particulièrement de celles de la classe des Pierres. — Les mercredis et vendredis, à une heure trois quarts.

Le propriétaire-gérant : Germer Baillière.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE NUMÉRO 5 30 DÉCEMBRE 1865

Paris, 29 décembre 1865.

M. Delaunay a présenté à l'Académie des sciences, dans la séance du 11 décembre, un intéressant mémoire sur le ralentissement du mouvement de rotation diurne de la terre, qui sert de mesure à tous les phénomènes astronomiques. La variation de la longueur du jour sidéral doit donc entraîner une variation apparente dans tous les phénomènes célestes.

L'accélération séculaire du mouvement de la lune, observée, pour la première fois, par Halley, a été expliquée par Laplace au moyen de la variation d'excentricité de l'orbite terrestre. Mais des calculs récents ont montré que cette cause ne rend compte que de la moitié du phénomène. La seconde moitié de l'accélération séculaire du mouvement de la lune ne serait, suivant M. Delaunay, qu'une accélération apparente due à l'allongement du jour sidéral résultant du ralentissement du mouvement de rotation de la terre; et, quant à ce ralentissement, il serait dû à l'influence des protubérances liquides qui se soulèvent à la surface des mers par suite de l'action de la lune, et qui constituent les marées.

Dans la séance suivante, M. Liais a envoyé une note relative au même phénomène. Outre l'action des marées, mise en lumière par M. Delaunay, M. Liais indique plusieurs autres causes, et, notamment, l'influence du magnétisme terrestre comme concourant à ce phénomène. On sait, en effet, que la terre constitue un aimant gigantesque, dont la ligne des pôles magnétiques fait un certain angle avec le plan de l'orbite lunaire, et les curieuses expériences de M. Joule ont montré la résistance qu'éprouve un corps magnétique, par suite de la transformation en chaleur d'une partie des forces vives.

M. Le Verrier annonce à l'Académie que la comète de Biéla, qui est périodique, vient d'être retrouvée par le P. Secchi, de Rome. Dans une de ses précédentes apparitions, cette comète s'était divisée en deux.

M. Victor Meunier envoie une nouvelle note sur le développement d'animalcules et de protophytes dans les ballons à col recourbé remplis de certaines liqueurs fermentescibles. Cette note a donné lieu, dans la séance suivante, à une réplique fort vive de la part de M. Pasteur.

Dans cette même séance, M. H. Sainte-Claire Deville a présenté, au nom de M. Schlœsing, un appareil au moyen duquel on peut obtenir, par la simple combustion du gaz d'éclairage brûlant dans le minimum d'air nécessaire, des températures extrêmement élevées, que MM. H. Sainte-Claire Deville et Debray n'avaient pu produire jusqu'ici qu'en remplaçant l'air par l'oxygène pur. Ces travaux sont susceptibles d'une application industrielle des plus importantes, puisqu'ils donnent le moyen d'augmenter la quantité de chaleur produite en réglant convenablement l'arrivée de l'air, et sans augmenter la quantité de combustible consommée.

M. Lacaze-Duthiers a lu un mémoire très-intéressant sur la circulation chez les animaux inférieurs (mollusques et zoophytes). Les principales observations de M. Lacaze-Duthiers ont porté sur un mollusque, la *Thétys léporine* de la Méditerranée. Cet animal possède sur le dos de quatorze à vingt paires de branchies, entre chacune desquelles on observe une fosse ovale d'un tissu plus délicat, plus transparent que le reste de l'enveloppe du corps, et sur le milieu de laquelle s'élève un petit mamelon percé d'un orifice en forme de boutonnière. Une injection, poussée avec beaucoup de précaution par cet orifice, pénètre bientôt dans les veines. Ce sont donc là autant d'issues par lesquelles le système vasculaire communique librement avec le milieu ambiant, de manière à en tirer, au besoin, une certaine quantité d'eau, ou à y rejeter une partie des liquides nourriciers qu'ils contiennent. C'est ce qui arrive, en effet, lorsqu'on saisit une Thétys; elle se contracte violemment, diminue presque du tiers de son volume et laisse écouler une quantité de liquide assez considérable pour mouiller toute la main de l'observateur.

Dans l'état normal, cette expulsion de liquides organiques et cette introduction directe des liquides ambiants dans le sang paraissent avoir lieu sous l'influence des centres nerveux, et par suite d'une véritable appréciation de l'animal. Voici, en effet, ce qu'a constaté M. Lacaze-Duthiers. Chacun des orifices dont nous venons de parler est fermé par un sphincter dont la saillie constitue le petit mamelon précédemment indiqué. A chacun de ces sphincters aboutissent deux nerfs, relativement assez gros, et qui se renflent quelquefois de manière à former

Digitized by Google

un petit ganglion nerveux avant de pénétrer dans le muscle; ces nerfs ont leur origine sur les parties centrales du système nerveux de la vie de relation et non sur le grand sympathique.

Chez d'autres animaux inférieurs, les choses se passent un peu différemment. Ainsi, chez la Bonellie, et les Géphyriens en général, M. Lacaze-Duthiers a distingué un premier liquide remplissant la cavité générale du corps, et un second enfermé dans les vaisseaux propres.

« Le premier, dit M. Lacaze-Duthiers, peut être versé au dehors, par les orifices de la reproduction, et par les calices terminaux des glandes rénales, qui offrent une disposition des plus curieuses. Qu'on imagine une glande en grappe dont tous les grains ou *acini* soient terminés, non comme cela a lieu dans les glandes ordinaires, en cul-de-sac, mais par des calices ou urnes élégantes couvertes de cils vibratiles déterminant des courants de l'extérieur à l'intérieur de la glande par un canalicule; que l'on conçoive, en outre, le rein flottant au milieu du liquide de la cavité générale du corps, lui empruntant d'une part les éléments de la sécrétion, et, d'autre part, lui enlevant directement et en nature, par ses cils vibratiles, une partie qu'il rejette au dehors; et l'on aura une idée de l'appareil rénal fort remarquable et très-particulier de la Bonellie. »

Chez les zoophytes cœlentérés, le même fait général se présente encore sous une autre forme: les vaisseaux sont en communication directe avec la cavité digestive, de sorte qu'il n'y a pas, à vrai dire, d'absorption; ils reçoivent donc directement par elle les liquides extérieurs, et y expulsent de même le surcroît de leur contenu. — Tous ces faits montrent que la nutrition s'accomplit, chez les animaux inférieurs, d'après un mécanisme bien différent de celui qu'on voit fonctionner chez les animaux supérieurs.

ÉMILE ALGLAVE.

SOIRÉES SCIENTIFIQUES DE LA SORBONNE.

PALÉONTOLOGIE.

CONFÉRENCES DE M. ALBERT GAUDRY.

Animaux fossiles aux environs d'Athènes.

Messieurs,

Il y a quelques années, la Sorbonne comptait, au nombre de ses professeurs, un homme qui avait longtemps voyagé dans les pays vierges du Nouveau Monde. C'était Auguste de Saint-Hilaire. Peu de temps avant la maladie qui enleva cet illustre vieillard, je le rencontrai dans les serres du Jardin des Plantes; il considérait les palmiers: « La vue de ces arbres, me dit-il, fait le charme de mes derniers jours; elle me rappelle les plus fortes émotions de ma vie, les contemplations des scènes de la nature sauvage. »

Si imposants que soient aujourd'hui les spectacles de la nature sauvage, notre esprit peut en concevoir de plus majestueux encore: ce sont les tableaux des temps géologiques, alors que la voix de l'homme n'avait pas résonné sur la terre, et que les troupeaux des grands mastodontes erraient en liberté dans les plaines.

Vous savez qu'avant l'apparition de la race humaine, les animaux se sont, pendant longtemps, partagé la surface de notre globe. Dans ces dernières années, on a beaucoup parlé de l'homme fossile; on a reconnu que nos premiers aïeux ont été contemporains des mammouths et d'autres animaux d'espèces perdues. Assurément, c'est là une curieuse révélation; cependant, qu'est-ce à dire, l'homme fossile? Ce n'est qu'un nouveau venu sur la terre, comparativement à l'ensemble des êtres géologiques. Avant lui, bien des générations d'animaux ont succédé à d'autres générations d'animaux, bien des générations de plantes ont succédé à d'autres générations de plantes. L'histoire de ces fossiles constitue la science appelée paléontologie.

Cette science est très-récente; elle date seulement du temps de Cuvier, mais elle a promptement séduit les esprits philosophiques de notre époque. Aussi, lorsqu'on vient à découvrir un important gîte de fossiles, c'est, on peut le dire, une bonne nouvelle, non-seulement pour les hommes spéciaux, mais aussi pour tous ceux qui s'intéressent aux progrès des sciences, et, comme vous, messieurs, veulent les encourager.

Or, on a trouvé, à quelques heures de marche d'Athènes, en un lieu jusqu'à présent inconnu, nommé Pikermi, une prodigieuse accumulation d'animaux fossiles. Ce sont les naturalistes allemands, Wagner et Roth, qui ont été les premiers à la signaler. L'Académie des sciences a bien voulu me charger d'entreprendre des fouilles à Pikermi sur une grande échelle, et je viens vous soumettre les résultats de mes recherches.

D'abord, disons quelques mots sur l'aspect géologique du pays où l'on rencontre les ossements fossiles. Les marbres donnent aux environs d'Athènes une physionomie particulière. Comme ce sont des roches sèches et dures, lors des dislocations du globe ils ne se sont pas ployés, mais ils se sont brisés. Il en est résulté qu'au lieu de former des collines plus ou moins ondulées, ils ont constitué des chaînes qui se dressent comme des murailles, et présentent les silhouettes les plus pures. Ceci vous frappe aussitôt que vous débarquez au Pirée, et que devant vous se développe la plaine d'Athènes; à droite, c'est l'Hymète, montagne toute de marbre; à gauche, l'Icarus, l'Ægaleus, le Corydalus, et, plus loin, le Parnès; au fond, le Pentélique, rival de Paros pour la beauté des marbres. Au milieu de la plaine, on voit encore une petite chaîne de marbre, le Lycabète, au pied duquel Athènes se développe. Il envoie dans l'intérieur de la ville des prolongements que les anciens ont utilisés pour asseoir les temples des dieux. En outre, Pausanias rapporte que les simulacres des principales divinités de l'Attique étaient établis sur les montagnes que je viens

Digitized by Google

de nommer. Ainsi, grâce à la disposition de leur sol, les Grecs pouvaient avoir toujours devant eux les images des dieux et des héros : cette vue dut alimenter leur religieux patriotisme. On s'en rend compte surtout, lorsqu'on se place à l'ancienne tribune aux harangues; aussi, vous le savez, messieurs, c'est à cette tribune qu'ont été prononcé pour la liberté et la patrie les plus belles paroles qui furent jamais dites, et, encore aujourd'hui, le voyageur n'en gravit pas les degrés sans éprouver quelque tressaillement pour la Grèce de Miltiade et de Périclès.

Au-dessus des marbres, il y a des calcaires et des grès qui ont été formés certainement dans des lacs, attendu qu'on y trouve des coquilles qui aujourd'hui habitent les eaux douces. Sur ces roches, reposent les limons rouges qui renferment les ossements fossiles.

Pour nous rendre à Pikermi, nous nous dirigeons au nord-est d'Athènes ; lorsque nous sommes à peu près à moitié chemin entre cette ville et Marathon, nous apercevons un torrent bordé de lauriers-roses qui descend du mont Pentélique. Nous le remontons, et bientôt nous apercevons des cahutes où habitent quatre ou cinq familles de bergers : voilà Pikermi ; c'est là qu'il faut planter notre tente, installer le campement de nos ouvriers et de nos soldats. Nos soldats, ah ! sur cette terre de Grèce que le génie antique avait rendue presque divine, pourquoi faut-il des soldats pour protéger un humble naturaliste contre les brigands? Les brigands de la Grèce ne sont pas d'ailleurs des voleurs vulgaires; ils ne vous pillent pas, ils vous emmènent dans la montagne, et ils écrivent à Athènes que si, tel jour, contre tel rocher, on n'a pas apporté une rançon (qui s'élève quelquefois à plus de 25 000 francs), ils vous couperont les oreilles ou vous tueront. J'ai été trois fois en Grèce; mon second voyage a coïncidé avec l'époque où le brigandage était dans sa plus grande activité; pourtant, nous en avons été quittes pour des coups de feu envoyés hors de portée. Nos plus grands ennemis en réalité ne furent pas les brigands, ce furent les fièvres intermittentes. Presque chaque semaine, il fallait remplacer des ouvriers qui avaient été atteints par les fièvres.

La vue de ces pauvres gens qui étaient venus à mon service contracter des maladies jetait quelque tristesse sur notre séjour; puis, nous ne trouvions pas constamment des richesses ; il y avait des semaines d'insuccès, de découragement. Mais, quand nous avions fait une belle découverte, quel bonheur ! Pour la célébrer, je distribuais à mes compagnons de travail du vin résiné et du miel de l'Hymette ; on allait abattre les branches d'un vieux pin, et l'on faisait rôtir un mouton entier, comme au temps d'Homère : c'est ce qu'on appelle un mouton à la Palikare. Autour du foyer petillant, bergers, soldats et ouvriers se rassemblaient ; et, tandis que les uns dansaient, les autres, selon la mode albanaise, chantaient et marquaient la cadence en frappant dans leurs mains. Nos petites fêtes, je vous assure, ne manquaient pas de poésie. Non, messieurs, je ne voudrais pas vous dissuader d'aller à votre tour planter vos tentes sur les bords du ravin de Pikermi : le ciel de la Grèce est si doux, la brise qui vient de la plaine de Marathon apporte au voyageur de si nobles souvenirs ! et puis, dans les débris du monde géologique, il y a, vous allez le voir, une étrange majesté qui séduit et grandit l'âme.

I

Lorsqu'on a fait sauter avec la poudre les roches qui forment le haut des escarpements, on arrive à une couche qui, dans certaines places, est absolument rempli d'ossements. C'est un spectacle étrange. Les os sont enchevêtrés avec le plus grand désordre.

Il faut commencer par les extraire de la pierre dans laquelle ils sont enfermés. J'ai rapporté près de cinq mille ossements ; bien des coups de marteau et de burin ont été nécessaires pour les dégager. Ensuite, il a fallu les trier, c'est-à-dire déterminer à quelle espèce chacun d'eux se rapportait. Pour y parvenir, on s'appuie sur ce principe que, dans les animaux, tout est si bien harmonisé que les organes sont dans la dépendance les uns des autres, et que la constatation des uns permet de supposer les autres : c'est ce que notre grand Cuvier a nommé la *loi de corrélation des formes*. L'étude des types intermédiaires, dont je vous dirai tout à l'heure quelques mots, prouve que l'exagération de ce principe expose à de graves erreurs, mais, entendu dans certaines limites, il restera toujours la base de nos déterminations de paléontologie.

Par exemple, au milieu des os que j'ai recueillis, voici un crâne qui provient d'un animal tout à fait inconnu, auquel j'ai proposé de donner le nom d'*Helladotherium*. Comment trouver les os des membres qui ont appartenu à cette espèce ?

Je constate d'abord que ses dents indiquent un quadrupède destiné à se nourrir d'herbes, et que cet herbivore devait avoir une très-grande taille ; par conséquent, je ne pourrai découvrir ses membres que parmi les grosses pièces. Ceci posé, cherchons les os de ses pieds. Je réfléchis que les mangeurs d'herbes n'ont pas besoin d'avoir des pattes aussi adroites à saisir, et par conséquent aussi compliquées que celles des singes et des carnassiers; moins ils ont de doigts, moins ils courent risque de se les fouler, lorsqu'ils courent, lorsqu'ils fuient. Or, voici la patte d'un grand animal qui est très-simple, et, sous ce rapport, me paraît convenir à l'Helladotherium.

Maintenant que nous croyons avoir trouvé les pieds, cherchons l'avant-bras. Notre avant-bras est composé de deux os, le cubitus et le radius. Le second tourne sur le premier, et en tournant, il entraîne la main. Mais chez les bêtes qui ne saisissent pas avec les pattes, il n'est pas nécessaire que ces pattes se tournent et se retournent. Par conséquent, il était inutile que l'Helladothérium eût un radius qui tournât sur le cubitus; mieux lui

Digitized by Google

valait un radius bien fixe qui présentât une solide colonne d'appui : en voici un qui me semble répondre à ces conditions. Je remarque en outre que ce radius s'articule bien avec la patte que voici, avec l'humérus que voilà; il y a donc lieu de supposer que ces pièces appartiennent à mon Helladotherium.

En continuant à procéder de la sorte, nous finirons par reconstruire le squelette entier que vous allez voir. (L'obscurité est faite dans la salle, et l'image du squelette de l'Helladotherium est projetée à l'aide de la lumière électrique sur un écran mobile placé derrière le professeur).

Ce quadrupède, dit M. Gaudry, surpasse en puissance tous les ruminants actuels. Vous distinguez autour des os une partie qui se détache en blanc; elle indique les contours que l'animal devait avoir de son vivant, mais évidemment elle est beaucoup plus hypothétique que la restauration du squelette.

J'ai trouvé à côté des pièces de l'Helladotherium des os que j'attribue à une girafe. Ils sont presque semblables à ceux de l'espèce vivante; ils sont grêles, allongés, et les membres de derrière présentent également la particularité d'être plus courts que ceux de devant.

La Grèce a nourri deux espèces de mastodontes. On confond quelquefois le mastodonte avec le mammouth. Le mammouth est un véritable éléphant : c'est l'espèce qui a été contemporaine des hommes antédiluviens, et dont on a découvert un cadavre presque entier enseveli dans les terrains glacés de la Sibérie. Les mastodontes ont fait leur apparition dans le monde plus tôt que les éléphants. Ces deux genres ont une extrême ressemblance, mais leurs dents ne sont pas faites de même : les dents des éléphants sont formées de lamelles juxtaposées; celles des mastodontes, au contraire, sont composées de gros mamelons. Vous pouvez remarquer sur le dessin de mastodonte placé devant vos yeux, que la mâchoire supérieure porte seule des défenses, ainsi que chez les éléphants; mais une des espèces de mastodonte qui vivaient en Grèce avait des défenses à la mâchoire inférieure aussi bien qu'à la mâchoire supérieure.

On rencontre à Pikermi les débris d'un quadrupède encore plus imposant que les mastodontes : c'est le Dinotherium. Le crâne d'un Dinotherium fut déterré en 1836; on l'apporta à Paris, et il fut exposé rue Neuve-Vivienne. Chacun voulut le voir; on admirait ses proportions colossales, et l'on se perdait en conjectures sur ses défenses qui se recourbent vers le sol, au lieu de se tourner vers le ciel, comme dans les autres animaux. On ne connaissait pas les os de ses membres, par conséquent on ne savait à quel ordre le rattacher. De Blainville, Strauss, Buckland, naturalistes éminents, le rangèrent parmi les animaux aquatiques. M. Lartet fut presque seul à prétendre que ce devait être un animal terrestre, plus voisin des éléphants que de toute autre espèce. J'ai trouvé à Pikermi des os des membres qui paraissait devoir être rapportés au Dinotherium; leur examen confirme les ingénieuses prévisions de M. Lartet. Je mets sous vos yeux un de ces os : c'est un tibia long d'un mètre. J'ai cherché à évaluer quelle pouvait être la taille du Dinotherium, en me basant sur les dimensions des os que j'ai recueillis. D'après mes calculs, il aurait eu 4 mètres 50 centimètres de hauteur au garrot. Pour vous donner des termes de comparaison, je dirai que le Muséum possède plusieurs squelettes d'éléphants de l'époque actuelle, et que le plus fort de ces squelettes n'a que 2 mètres 75 centimètres. Le Muséum renferme aussi un squelette de mastodonte qui a été remonté; il n'a que 2 mètres 40 centimètres. Ces chiffres prouvent combien le Dinotherium était gigantesque; c'est le plus grand des êtres qui ont vécu sur la terre ferme.

Il y avait en Grèce un carnassier redoutable que l'on a appelé le *Machærodus*. Ce mot signifie dents en forme de poignard. En effet, ses canines supérieures simulent véritablement des lames de poignard; elles sont longues, tranchantes, et, quand on les regarde de près, on voit sur les bords des dentelures semblables à celles d'une scie; ce devaient être des armes terribles.

Je vous citerai encore parmi les bêtes curieuses de Pikermi un très-gros édenté que j'ai proposé d'appeler *Ancylotherium*, ce qui veut dire grand animal crochu; ses doigts sont disposés de telle sorte qu'ils restassent toujours crochus.

Les exemples que je viens d'indiquer suffisent pour montrer que les êtres actuels n'ont pas la même grandeur que ceux des anciens âges; le règne animal n'a plus autant de majesté qu'autrefois. En effet, l'Afrique est aujourd'hui le pays du monde qui renferme les plus puissants animaux; pourtant toute l'Afrique n'a qu'une espèce de girafe, au lieu qu'à Pikermi, on trouve les restes d'une girafe, d'un animal voisin de la girafe et de l'Helladotherium. L'Afrique ne nourrit qu'une espèce d'éléphant, tandis qu'à Pikermi il y a deux espèces parfaitement distinctes de mastodontes, et en outre le Dinotherium. Le Machærodus est un peu plus fort que le lion; l'oryctérope, le plus grand édenté de l'Afrique, est un être chétif comparativement à l'Ancylotherium.

J'aurais pu citer bien d'autres animaux qui se trouvent fossiles en Grèce : des singes, des hyènes, des Hœynitis, des Ictitheriums, des Acerotheriums, des Leptodons, des Hipparions, le sanglier d'Erymanthe, des antilopes aux formes les plus variées, des oiseaux, des reptiles. Que de morts entassés dans ce ravin de Pikermi! On dirait un cimetière immense que la Providence a conservé pour nous apprendre l'histoire des générations passées.

Cependant, quelle que soit la multitude des existences qui sont venues s'enfouir là, elles ne représentent qu'une phase relativement très-courte dans l'histoire du développement de la vie. Avant les animaux qui ont paru en Grèce, combien de mammifères avaient vécu au commencement de l'époque tertiaire? Avant eux,

Digitized by Google

combien de reptiles pendant l'époque secondaire? Avant les reptiles, combien de poissons pendant l'époque de transition? Avant les poissons, combien de mollusques, combien de rayonnés? En vérité, devant toutes ces grandes choses, l'homme se trouve bien petit. L'astronomie nous avait appris que nous ne sommes qu'un point dans l'espace, et voilà que la géologie nous apprend que nous ne sommes qu'un point dans le temps.

Vous l'avouerai-je, messieurs, dans mon ravin de Pikermi, ces pensées m'oppressaient quelquefois. Mais, quand, après des mois de labeurs au pied de la montagne, je rentrais dans Athènes, mes idées changeaient; et elles changeaient surtout alors que, pour dire un dernier adieu à la Grèce, je montais à l'Acropole, cette colline où l'art humain a réuni tant de merveilles; appuyé contre une des colonnes du Parthénon, je me disais: « Qu'importe que l'homme ait un corps si petit, puisque Dieu a doté son âme du génie; qu'importe que nous soyons nés d'hier, que le passé ait été pour les êtres sans raison, si le présent est à nous et si l'avenir nous est réservé! »

II

Nous avons vu combien furent gigantesques les bêtes de Pikermi. Qu'est-il résulté de leur rencontre? Furent-elles contraintes d'accepter cette épreuve, qu'un grand naturaliste moderne a nommée concurrence vitale? Y eut-il désordre? y eut-il harmonie?

Considérons d'abord les animaux qui se nourrissent des produits de la végétation. De nos jours, les herbivores de même espèce se livrent de rudes assauts pour la possession des femelles. Ces luttes sont utiles; car, ainsi, ce sont les sujets les plus vigoureux qui perpétuent les races. Mais, en dehors de ces luttes d'amour, on peut dire que les herbivores vivent entre eux en bonne intelligence. Le rhinocéros est celui qui passe pour le plus intraitable; pourtant, il n'attaque pas les animaux sauvages; il est féroce uniquement contre l'homme et ses auxiliaires, le cheval, le chien et le bœuf; on prétend même qu'il sait distinguer le bœuf qui est domestique de celui qui ne l'est pas. Cette harmonie, qui règne entre les herbivores, paraît résulter en partie du soin qu'a pris l'Auteur de la nature de diversifier leur mode d'alimentation. Or, s'il est permis d'attribuer aux animaux des temps géologiques un régime de nourriture analogue à celui des espèces actuelles, qu'ils rappellent par leur dentition, nous pouvons dire: il y avait autrefois, en Grèce, des girafes pour brouter les feuilles des grands arbres, tandis que les ruminants, plus petits, appelés *Palæotragus*, broutaient les feuilles des arbres moins élevés; les rhinocéros dévoraient les buissons coriaces, épineux, que certainement les autres herbivores n'étaient pas disposés à leur disputer. Les Hipparions et les antilopes paissaient l'herbe des prairies; à côté d'eux, le sanglier d'Érymanthe fouillait le sol pour en retirer des tubercules; les mastodontes, avec leurs trompes, cueillaient les fruits des arbres; enfin, des singes, appelés mésopithèques, montaient sur les hautes branches pour croquer les fruits que la trompe des mastodontes ne pouvait atteindre. Ainsi, aucun trésor du règne végétal n'était perdu, et, dans cette immense réunion d'êtres divers, chacun trouvait sa pâture sans avoir à envier le bien de la tribu voisine.

Passons aux carnivores. Ils se divisent en deux catégories. Il y en a qui se nourrissent principalement de chair morte, comme les hyènes, et d'autres qui se nourrissent de chair vivante, comme les lions.

Évidemment, ceux qui se nourrissent de chair morte rendent de grands services, car ils font disparaître les corps qui vicieraient l'air. «L'hyène», a dit Delegorgue, « est au lion ce que le vautour est à l'aigle; elle net» toie les restes de son festin. » Il y a quelques années, j'allais du Caire à Suez, alors qu'un de nos compatriotes n'avait pas encore amené dans le désert des canaux et des chemins de fer. Je rencontrai un dromadaire qu'une caravane venait d'abandonner; le pauvre animal se mourait. Trois jours après, je repassai devant son cadavre; les hyènes et les vautours n'y avaient pas laissé un seul lambeau de chair. Dans les temps anciens, il y avait en Grèce beaucoup d'animaux de la famille des hyènes. Grâce à ces enleveurs de cadavres, la terre a toujours conservé son manteau exempt de souillures.

Les carnivores qui se nourrissent de chair vivante rendent aussi des services. Voici ce que dit, à ce sujet, le courageux chasseur Delegorgue: « Le lion a une uti» lité incontestable; depuis les sources du Touguéla » jusqu'au tropique du Capricorne, pas un lion n'existe, » et les hordes de gnous et de couaggas, qui n'y sont déjà » que trop nombreuses, vont se multiplier dans une ef» frayante proportion. » Les gazelles, que l'on appelle *euchores*, forment des troupes encore plus considérables que les gnous et les couaggas. On prétend qu'elles composent des bandes de quarante, et même de cinquante mille individus; à l'arrière-garde, il y a toujours des animaux qui, ne pouvant se procurer de la nourriture, meurent ou sont d'une maigreur extrême. Par conséquent, il faut que les carnivores modèrent ce qu'il y a d'excessif dans le développement des herbivores. D'ailleurs, tous les êtres étant destinés à la mort, il arrive un moment où ils sont exposés aux maladies, aux souffrances; alors, incapables de se défendre ou de chercher leur salut dans la fuite, ils deviennent une facile proie pour les bêtes de carnage: une prompte mort leur épargne de longues souffrances. Dans le vieux monde, il y avait des carnivores se nourrissant de chair vivante, mais ils n'étaient pas assez nombreux pour transformer le monde en un théâtre de lutte, de carnage universel. Du moins, en Grèce, d'après les débris que j'ai recueillis, leur développement paraît avoir été relativement bien moindre que celui des herbivores: car ces derniers, vous l'avez vu, étaient très-supérieurs à ceux qui vivent maintenant, au lieu que les

Digitized by Google

carnivores de Pikermi, sauf le Machærodus, n'étaient pas plus puissants que les carnivores actuels. Il est même permis de supposer que le Machærodus ne troublait pas la tranquillité des principaux herbivores, attendu que tous les voyageurs s'accordent à dire que le lion n'attaque jamais les éléphants adultes.

A ce sujet, messieurs, permettez-moi de vous faire une remarque : on appelle le lion le roi des animaux; mais c'est un singulier monarque, celui qui est fui de tous ses sujets et ne les voit que pour les dévorer. J'aimerais mieux dire que le roi des animaux actuels, c'est celui dont Livingstone a écrit ces mots : « Toute créature vivante, excepté l'homme, s'efface devant le noble éléphant. » A plus forte raison, il faudrait donner le titre de roi des animaux géologiques, non pas au féroce Machærodus, mais au Dinotherium, souverain à la fois puissant et pacifique. Vous le représentez-vous, ce monarque des vieux âges? comme il devait être beau à voir, quand il s'avançait escorté des grands de sa cour, les Mastodontes, les Helladotheriums, les Ancylotheriums! C'était vraiment la personnification de la nature calme et majestueuse des âges passés.

III

Nous avons considéré en eux-mêmes les animaux de Pikermi; il nous reste à étudier leurs rapports avec les autres animaux. Les espèces fossiles doivent-elles être regardées comme des groupes jetés isolément sur la terre, ou bien s'enchaînent-elles avec celles qui les ont précédées et celles qui les ont suivies? Cette question est une de celles qui préoccupent davantage les naturalistes et les philosophes.

Pour fonder la paléontologie, c'est-à-dire pour prouver qu'il y a eu des êtres primitifs distincts des êtres actuels, il a fallu faire ressortir leurs différences : ceci a été la principale gloire de Cuvier. Ensuite, pour montrer que les êtres fossiles ont appartenu à plusieurs époques géologiques, dans chacune desquelles ils ont présenté une physionomie particulière, il a fallu encore insister sur les différences. Ainsi, à l'origine, les meilleurs naturalistes furent entraînés à considérer les lacunes qui séparent plutôt que les traits qui unissent. Analystes d'un talent incomparable, ils ont promptement révélé tout un monde de merveilles, mais de merveilles isolées.

Cependant, grâce aux matériaux qu'ils ont accumulés, et ceux qu'apportent chaque jour les paléontologistes, on commence à entrevoir qu'un plan a dominé l'histoire de la vie. Il y a, dans la nature, quelque chose peut-être de plus magnifique que la diversité apparente des formes, c'est l'unité qui les relie. La découverte de chaque gisement nouveau révèle des intermédiaires qui établissent des liens entre des animaux jugés autrefois très-distincts. Pikermi, notamment, a fourni un grand nombre d'exemples de formes intermédiaires; je vais en citer quelques-uns :

Du temps de Cuvier, on ne connaissait pas de singes fossiles; par conséquent, on n'avait pas lieu de supposer que les singes actuels eurent des liens avec le monde primitif. Mais, depuis, on en a découvert quatorze espèces. Elles sont représentées par des pièces incomplètes. Le singe de Grèce, au contraire, est très-bien connu aujourd'hui. J'en ai trouvé vingt-deux crânes, et j'ai aussi des os de toutes les parties du corps, de telle sorte qu'on a pu reconstruire le squelette que vous voyez (fig. 18).

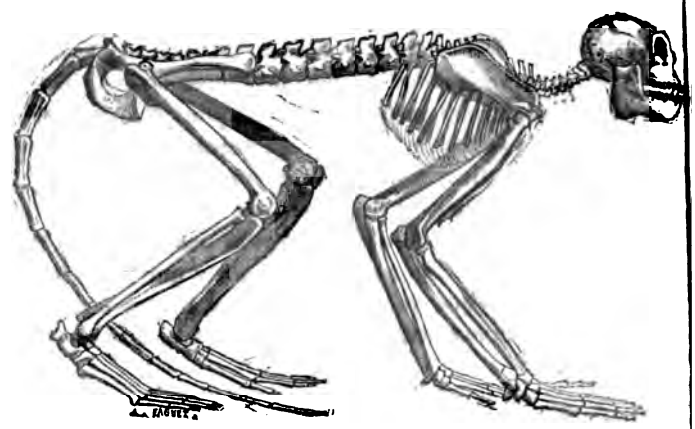


FIG. 18. — Le singe de la Grèce.

Or, cette restauration est très-intéressante, parce qu'elle nous montre une forme intermédiaire entre les animaux vivants, appelés macaques, et ceux qu'on nomme semnopithèques. On dirait que les semnopithèques ont emprunté au singe de Grèce son crâne, et que les macaques lui ont emprunté ses membres.

Un rhinocéros de Pikermi donne lieu à des observations analogues : l'Afrique nourrit actuellement deux espèces de rhinocéros, l'un, qu'on nomme le rhinocéros camus, et l'autre, le rhinocéros bicorne. Le fossile dont je parle en ce moment est intermédiaire entre ces deux espèces; il a le crâne du bicorne et les membres du camus. J'indiquerai encore un carnassier qui est un peu ours, un peu chien et même un peu chat; il y a des civettes qui présentent certains caractères des hyènes, des hyènes qui reproduisent certains caractères des civettes, de telle sorte que les deux familles se trouvent maintenant alliées de bien près. On voit aussi une hyène proprement dite, et celle-là est intermédiaire entre deux espèces qui vivent maintenant, ayant la mâchoire inférieure de l'une, et, à peu de chose près, la mâchoire supérieure de l'autre.

J'ai dit que les mastodontes présentaient des différences avec les éléphants pour la forme des molaires. Ceci est vrai, si l'on considère les espèces types; mais on découvre tous les jours de nouvelles espèces de mastodontes et d'éléphants fossiles; lorsqu'elles sont mises à côté les unes des autres, on les voit se lier insensiblement.

Les Hipparions sont très-instructifs au point de vue des formes intermédiaires. Ils ont été les prédécesseurs de nos chevaux; ces derniers ont un seul doigt à chaque pied; c'est pour cela qu'on les a classés dans un ordre à

Digitized by Google

part sous le nom de solipèdes. Ils ont, de chaque côté de la pièce principale du pied appelée le *canon*, un os allongé en forme de stylet, dont nous ne comprenons pas bien la destination. Dans l'Hipparion, cet os s'allonge et porte un petit doigt latéral, de telle sorte que le pied est absolument semblable à celui de certains animaux de l'ordre des pachydermes ; il en résulte qu'il faut rattacher à cet ordre celui des solipèdes. Mais, ce qui est plus curieux, c'est que, dans la nature actuelle, on voit quelquefois se développer accidentellement chez les chevaux des doigts semblables à ceux de l'Hipparion ; on dirait un éphémère retour vers le caractère d'un ancêtre.

J'ai dressé des tableaux dans lesquels j'ai disposé un assez grand nombre d'animaux fossiles d'après leur ordre géologique, c'est-à-dire suivant l'époque à laquelle ils ont fait leur apparition sur la terre. Dans le bas, j'ai rangé les espèces les plus anciennes; au-dessus de celles-ci, j'ai mis celles de la seconde époque; plus haut, celles de la troisième époque ; plus haut encore, celles de la quatrième, et ainsi de suite. J'ai joint par des traits les espèces qui se ressemblent davantage. Ces tableaux font ressortir les modifications lentes qui se sont produites chez les animaux à mesure que se déroulaient les temps géologiques. J'en citerai un exemple :

Rien ne se ressemble moins, en apparence, qu'un animal dont le nez est surmonté d'une corne et celui qui est muni d'une trompe car, chez le premier, il faut que les os du nez se développent assez pour supporter la corne ; au contraire, chez le second, les os du nez doivent se rapetisser pour laisser passer la trompe. Or, voici le crâne du Palæotherium (fig. 19), un des quadrupèdes dont la restauration a été due au génie de Cuvier; vous voyez que les os du nez sont très-petits; ils le sont tellement, qu'à leur seule inspection, Cuvier a supposé l'existence d'une trompe analogue à celle du tapir. Passons à l'Acerotherium, genre d'une origine un peu plus récente que le Palæotherium (fig. 20); les os du nez se sont assez allongés pour qu'il n'y ait plus de place pour une trompe, mais pas assez pour qu'ils aient pu soutenir une corne (1). Continuons à descendre le cours des siècles géologiques; nous rencontrons un des rhinocéros dont les restes sont enfouis à Pikermi; chez cette espèce, les os du nez se sont épaissis de manière à supporter une corne (fig. 21). Avançons toujours dans la série des âges; voici un rhinocéros (fig. 22), où les os du nez sont non-seulement épaissis, mais sont fortifiés par une demi-cloison qui s'est étendue au-dessous d'eux. Enfin, arrivons à l'époque quaternaire : nous contemplons (fig. 23) le rhinocéros appelé *rhinocéros à narines cloisonnées*, qui fut contemporain de nos premiers aïeux, et peut être fut acteur dans ce drame sublime où l'homme, faible, nu, avec un simple caillou dans la main, affronta et vainquit

(1) Il y avait peut-être une corne sur le front.

Fig. 23.

Fig. 22.

Fig. 21.

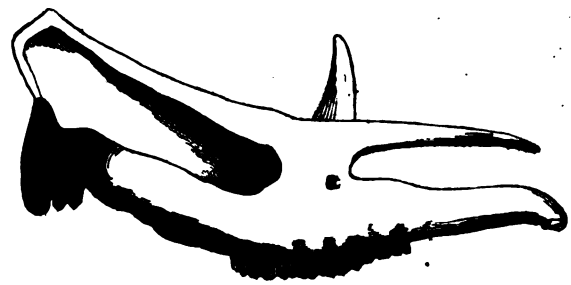


Fig. 20.

Fig. 19.

Digitized by Google

les monstres des temps géologiques. Eh bien ! il n'a pas seulement une demi-cloison ; il a une cloison entière, de sorte que sa corne reposait sur une base d'une solidité à toute épreuve.

J'ai cité des exemples de formes intermédiaires chez les animaux supérieurs ; si nous avions le loisir d'examiner les autres classes des règnes organiques, nous y découvririons de même des formes intermédiaires. Nous entendrions M. Richard Owen, après d'immenses travaux sur les reptiles fossiles, laisser tomber ces paroles : « Les reptiles fossiles montrent combien est artificielle la distinction entre les reptiles et les poissons ; ils révèlent l'unité des vertébrés à sang froid. » Avec Heckel, nous verrions la colonne vertébrale des poissons se transformer peu à peu, depuis les anciennes périodes jusqu'à l'époque tertiaire, et, après lui, nous répéterions : « Les poissons des temps géologiques ont parcouru en des milliers d'années des phases semblables à celles du développement embryonnaire des poissons qui vivent actuellement. »

Si nous descendions aux animaux très-inférieurs, les intermédiaires ne seraient pas moins nombreux. Ils seraient frappants surtout quand nous arriverions aux derniers degrés de l'échelle animale. Un observateur accompli, M. Carpenter, nous dirait, à propos des êtres microscopiques appelés foraminifères : « Quand même vous reculeriez les limites des espèces, jusqu'à y comprendre ce qu'ailleurs on nomme genre, ces espèces seraient liées par des passages tellement gradués que vous ne sauriez tracer les lignes de démarcation. »

Enfin, s'il y a des transitions entre les formes animales, je pense qu'il y en a aussi parmi les formes végétales ; car M. Heer, dans son grand ouvrage sur les plantes fossiles, s'exprime ainsi : « Un grand nombre de ces plantes ont des ressemblances si frappantes avec les plantes actuelles, qu'on peut se demander si elles n'en sont pas les aïeules. »

Je ne prolongerai pas ces remarques sur les formes intermédiaires ; voyons quelles conclusions on en peut tirer.

D'abord, il y a une conclusion pratique, et cette conclusion, c'est qu'il faut renoncer à la croyance flatteuse que nous sommes capables de déterminer un animal fossile dont nous possédons seulement des os isolés. Supposons, en effet, ce carnassier qui est un peu chien et un peu ours ; si nous en trouvons certaines dents, nous penserons que c'est un chien, nous nous tromperons ; si nous découvrons d'autres parties, nous croirons que c'est un ours, et nous nous tromperons encore. Il est difficile de déterminer un vertébré fossile, non-seulement avec des dents isolées, mais avec des pièces beaucoup plus complètes, par exemple avec un crâne tout entier. Lorsque nous n'avons connu que le crâne du singe de Grèce, nous avons pris cet animal pour un semnopithèque : c'était une erreur. Si au lieu de son crâne, nous n'avions rencontré que les os de ses membres, nous aurions dit que c'était un macaque ; nous aurions commis une égale erreur. Le Dinotherium fournit encore une preuve plus puissante à l'appui de notre opinion : quand on n'a eu que son crâne (et ce crâne était admirablement conservé), d'illustres naturalistes ont écrit que c'était une bête aquatique voisine des lamantins, et maintenant que nous possédons plusieurs os de son squelette, nous croyons que c'était un animal terrestre, ayant des rapports avec les proboscidiens.

Enfin, il y aurait des conclusions philosophiques à tirer de l'étude des formes intermédiaires : ici je dois mettre une extrême prudence ; il ne s'agit pas de poser des affirmations, je ne veux que manifester des tendances ; car je raisonne seulement sur des parties incomplètes, sur des ossements ; je ne connais pas les parties molles des animaux. Et puis, il ne faut pas l'oublier, notre science est à son berceau : paléontologues d'un jour, nous balbutions à peine quelques mots de l'histoire du monde.

Ces réserves faites, je dirai : l'étude des formes intermédiaires entraîne naturellement à supposer qu'un grand nombre d'êtres, regardés autrefois comme ayant eu des origines distinctes, sont descendus les uns des autres, et que Dieu leur a fait subir peu à peu des transformations pendant le cours des âges géologiques.

Dans quelles limites ces transformations ont-elles eu lieu ? car à côté des espèces qui se lient, il y a encore de très-larges lacunes. Je ne saurais répondre à cette question, sans sortir du domaine des faits positifs : là où je vois des espèces qui s'enchaînent, je suppose qu'elles sont descendues les unes des autres ; là où je rencontre des lacunes, je me tais, j'attends. Mais je ne peux m'empêcher de croire que ces lacunes diminueront rapidement, puisque chaque découverte a pour résultat d'en combler quelques-unes.

J'essayerai encore moins d'indiquer comment les transformations ont été produites ; car je crains de me laisser entraîner dans le champ si mouvant des hypothèses. Lorsque l'illustre naturaliste Darwin a prétendu qu'un grand nombre d'espèces s'étaient transformées, il a répondu aux aspirations de beaucoup de paléontologues ; mais, lorsqu'il a cherché à expliquer comment les modifications avaient eu lieu, il a rencontré les objections d'hommes très-versés dans l'étude de la nature.

Messieurs, quelle que soit la manière dont les transformations ont été opérées, ce qui, dans ma conviction intime, est incontestable, c'est que nulle d'entre elles n'a été le résultat du hasard. Si nous parvenons un jour, par suite des progrès de la paléontologie, à reconnaître que les êtres organisés sont descendus les uns des autres, ceci nous les fera considérer comme des substances plastiques qu'un artiste s'est plu à pétrir pendant le cours des âges géologiques, ici allongeant, là retranchant, ainsi que le statuaire produit mille formes avec le même morceau d'argile. Mais, nous n'en douterons pas, l'artiste qui pétrissait était le Créateur lui-même,

Digitized by Google

car chaque transformation a porté l'empreinte de la Beauté infinie.

ALBERT GAUDRY.

UNIVERSITÉ DE TURIN.

PHYSIOLOGIE EXPÉRIMENTALE.

COURS DE M. MOLESCHOTT.

La physiologie comme base de la médecine.

Au moment de nous livrer à une étude difficile et de longue haleine, il ne sera pas hors de propos d'examiner si nos efforts peuvent produire des fruits, et si ce travail où vont se consumer nos forces, notre esprit et notre temps, trouvera sa juste récompense. Il est tout naturel de se demander si l'importance des études auxquelles nous voulons nous vouer est en rapport avec les difficultés qu'elles présentent : car il ne faut pas se dissimuler que nous aurons besoin d'une patience concentrée pour arriver à comprendre ces doctrines, d'une continuelle persévérance pour les acquérir, d'une énergique activité, de méditations profondes et subtiles pour en faire une utile application.

Oui, messieurs ! j'ai dit utile application. Que vos esprits d'élite ne s'offensent pas si je m'abaisse aujourd'hui à mesurer la valeur de la science au compas de l'utilité. Je vous accorde, et vous reconnaissez tous avec moi que la science procure une satisfaction plus élevée et plus noble, lorsqu'elle nous révèle les rapports intimes des choses et les lois harmonieuses de l'univers, et qu'elle fait de la nature une intelligence, que lorsqu'elle tire de ces lois les conséquences et les faits qui peuvent venir en aide à nos besoins, et qu'elle transforme ainsi l'intelligence en un vil serviteur. Il vous plaît de proclamer que le vrai est aussi supérieur à l'utile que le beau à l'agréable : à merveille ! Mais cette profession de foi n'oblige aucun de nous à croire que le vrai s'avilit quand il nous vient en aide et contribue à adoucir l'existence humaine, si féconde en misère ; de même que le beau ne perd rien de sa grandeur, lorsque l'art, en nous élevant par les plus nobles inspirations au-dessus de l'inquiétude de nos passions, ennoblit le cœur et polit les mœurs.

Résignons-nous donc à rechercher si les vérités que nous allons conquérir à force de sueur et de labeur nous donneront d'utiles enseignements pour la culture de ce vaste champ auquel nous allons appliquer notre travail, et les efforts de l'âge le plus fertile de la vie.

Posons-nous nettement et clairement la question.

La physiologie est-elle de quelque secours pour la pathologie et mérite-t-elle d'être appelée la racine vivante de la médecine tout entière ?

Comment serait-il permis de le mettre en doute ? N'est-il point par hasard reconnu de tout le monde que, pour guérir les maladies, il faut les connaître en tant que désordres organiques, et que la connaissance du désordre suppose celle de l'ordre dans la fonction ?

Je vous confesse, messieurs, qu'il fut un jour où, dans mon ingénuité, je pensais que cette vérité était si claire et si évidente, tellement démontrée et reconnue, que je croyais que ce serait offenser une jeunesse d'élite, vouée à l'étude de la médecine, que de vouloir lui démontrer ce que sait le premier ouvrier venu : qu'il doit connaître la structure de l'instrument aux défauts duquel il doit remédier. Et si je suis revenu d'une pareille croyance, ce n'est certes pas que je fasse de vous moins de cas que de ces jeunes gens devant lesquels j'exprimais cette opinion pendant le premier cours que j'ai eu l'honneur de faire dans cet illustre Athénée. Car je nourris la profonde et robuste conviction qu'une génération qui succède à une autre a sur celle-ci un avantage marqué, parce que le développement du genre humain, et des moyens d'enseignement dont il dispose, entraîne avec lui le perfectionnement graduel des esprits d'élite qui sont la plus belle espérance de l'avenir.

Pourquoi mettre alors en lumière une idée qui, pour vous ramener dans cet amphithéâtre, a été sans aucun doute plus puissante ici que n'auraient jamais été des règlements d'étude ni des programmes d'examen ? J'espère que vous trouverez ma proposition motivée et même justifiée, quand je proclame que les considérations par lesquelles je veux inaugurer cette année mon cours de physiologie ne me touchent pas seulement en ce qu'elles vous concernent ; elles me touchent aussi personnellement, attendu que ce n'est pas le titre de maître que j'ambitionne, mais bien plutôt le titre de votre compagnon d'études, animé des mêmes amours, des mêmes intérêts, de la même avidité d'apprendre.

Douterais-je donc d'avoir frappé juste, lorsqu'il m'arriva un jour de déclarer que la physiologie était le cœur même de la science médicale, c'est-à-dire cette partie organique de la médecine qui distribue à tous les autres le sang de la science, qui imprime à toutes les autres le caractère scientifique, faisant du médecin routinier un médecin logique, du médecin crédule un médecin observateur, de l'empirique un rationaliste, du charlatan un savant ? Non, messieurs, un pareil doute n'a jamais séjourné dans mon esprit. Mais il arrive souvent que les vérités dont nous sommes profondément convaincus rencontrent de telles oppositions que nous sommes troublés, sinon dans notre propre conviction, au moins dans la certitude que nous avions qu'elles étaient passées dans la conscience de tous ceux qui nous précèdent et qui nous guident sur le sentier escarpé que nous gravissons. Il s'élève contre les vérités que nous croyions les mieux établies de tels contradicteurs que nous ressentons à peu près la même impression que doit faire sur son fils, jeune penseur, vaillant observateur des progrès de la science dans toutes ses branches, un père respectable par le savoir et l'expérience, et qui repousserait une des plus importantes doctrines que la nouvelle génération aurait conquise en réunissant ses efforts.

Depuis que j'ai voulu mettre en lumière l'importance de la physiologie au point de vue de la médecine en me servant de la formule susdite, j'ai eu connaissance, relativement à cette même question, des déclarations de deux médecins illustres par leurs travaux, illustres par leur éminente personnalité, illustres enfin par l'autorité qu'ils ont acquise dans l'histoire de la médecine, dans deux grands pays très-civilisés. L'un en Italie, l'autre en Allemagne, ils ont tous les deux marché à la tête de la médecine et en ont personnifié le génie pendant plus d'un tiers de siècle, qui tournait à son déclin lorsque l'Italie a proclamé l'unité de la patrie, cette unité vers laquelle l'Allemagne aspire encore en vain.

Schönlein, dans l'introduction à son cours de pathologie spéciale, s'efforçait de démontrer que la médecine pratique n'a retiré aucun avantage de la physiologie. Et Bufalini, l'année passée, a posé la question de savoir si la physiologie avait été

Digitized by Google

de quelque utilité pour l'exercice de cet art salutaire, et il a répondu lui-même que « la pathologie ne peut se fonder sur » la physiologie ; que l'on peut avec l'anatomie et la chimie » pathologique reconnaître les altérations de l'organisme; » mais que ces connaissances et les connaissances physiolo- » giques sont impuissantes à les expliquer ; que les faits con- » stitutifs de la maladie demandent une observation particu- » lière qui n'a rien de commun avec l'observation sur laquelle » s'appuie la physiologie, qu'ils ne sont nullement inséparables des faits physiologiques, et que ces derniers ne peuvent » leur servir d'explication. Il est donc temps », écrit Bufalini, » de mettre un terme à ces maximes qui répugnent à nos » connaissances, à savoir, que telle science descend de telle » autre, que celle-ci a son fondement dans celle-là, que l'une » est la base de l'autre. »

Ces paroles ont été prononcées par des hommes trop importants pour que je puisse éviter la discussion.

Nous nous trouvons d'abord en présence de cette considération, que l'état physiologique de l'organisme n'est pas séparé de l'état pathologique par une limite bien marquée, qu'il serait besoin de franchir pour passer de l'un à l'autre : il faut même dire que la condition normale est liée à la condition anormale par des transitions lentes, graduées, innombrables ; et c'est pour cela que souvent la condition pathologique reste à l'état embryonnaire, et qu'elle avorte pour ainsi dire, de même que l'organisme après avoir souffert de légers troubles retourne à l'état normal. D'autres fois, au contraire, les effets d'un élément pernicieux se développent et amènent une véritable maladie, qui apparaît comme l'exagération d'un état physiologique.

Quoique vous n'ayez pas encore eu entre les mains un livre de pathologie, vous savez tous qu'un nombre considérable de maladies dérivent d'une trop grande affluence de sang dans certaines parties de l'organisme, et qu'il peut en résulter un ensemble de désordres qui prend tantôt le nom de congestion, tantôt celui d'inflammation.

Eh bien ! Examinez un peu la muqueuse de l'estomac pendant la digestion : vous la trouverez plus rosée que d'habitude, plus gonflée, vous constaterez une augmentation dans la sécrétion du mucus et du suc gastrique, et dans le mucus vous verrez une grande quantité de cellules provenant du détachement de l'épithélium stomacal. Dans les conditions normales, cet état d'hypérémie, ainsi que les conséquences qu'il entraîne, et qui tiennent essentiellement à la nature de l'organe, passent rapidement. S'il persiste, par exemple à la suite d'une trop grande ingestion de nourriture, nous aurons une condition pathologique, connue sous la dénomination d'état gastrique, qui, pour si peu qu'elle augmente, devient le catarrhe gastrique, lequel n'est autre chose qu'une espèce d'inflammation de la membrane muqueuse stomacale. L'irritation produite par cette trop grande quantité de nourriture pourra être mécanique, plus souvent elle sera chimique ; en effet, les aliments ne trouvant pas une assez grande quantité de suc gastrique, l'équilibre naturel est rompu ; il en résulte que les substances albuminoïdes se soustrairont en plus grande quantité que d'ordinaire à la dissolution ; elles subiront une fermentation anormale, il se formera des acides organiques, comme l'acide lactique ou acétique, butyrique ou valérianique, qui constitueront l'élément nuisible donnant lieu à l'irritation morbide. On voit en même temps augmenter dans l'estomac les sécrétions de mucus alcalin, qui, lorsqu'il provient normalement des glandes pyloriques, n'apporte aucun trouble dans la digestion, mais qui empêche, lorsqu'il est trop abondant, l'influence digestive du véritable suc gastrique. Impropre à remplacer le suc gastrique, le mucus alcalin constitue dans l'estomac un véritable embarras organique ; l'individu n'a plus faim, il souffre de la soif, il est abattu, les douleurs de tête se déclarent et ordinairement aussi la fièvre. Ce serait tenter l'impossible que de vouloir chercher à définir le point précis où a cessé la santé, où a commencé la maladie, parce que ces deux états s'enchaînent mutuellement, de même que, dans la genèse de l'animal, les phénomènes embryologiques si voisins les uns des autres se confondent sans limites tranchées. Le catarrhe gastrique n'est que l'exagération de conditions qui toutes se rencontrent avec des proportions diverses dans l'acte de la digestion.

Chez les jeunes filles qui approchent de la puberté, on observe physiologiquement une diminution des globules rouges du sang, et souvent même une pâleur qui révèle à l'observateur le changement qui se prépare en elles. Lorsque par suite d'une mauvaise alimentation, ou de fatigues excessives, ou d'émotions morales, le sang n'est pas suffisamment entretenu, on voit chez ces jeunes filles la diminution des globules sanguins faire des progrès et se produire une série de symptômes qui constituent la chlorose. La chlorose dans ces cas n'est que la douloureuse exagération d'un état physiologique.

Autre cas : une personne a les fosses nasales resserrées, si la sécrétion muqueuse est exagérée elle souffrira du coryza, les sécrétions accumulées pourront obstruer le canal excréteur d'une des glandes qui produisent ces mucosités, et celle-ci pourra augmenter de volume et se transformer ainsi en polype muqueux.

De tous ces exemples il résulte que l'excès qui convertit la condition normale en condition anormale peut être un excès en plus ou un excès en moins. Mais en somme l'état pathologique, grâce à des phénomènes de développement plus ou moins rapides, n'est que la continuation directe de l'état physiologique.

Puisque il y a continuité entre l'état pathologique et l'état physiologique, puisque les maladies ne constituent pas un règne d'une nature spéciale qui diffère de celui des fonctions normales, comme le règne animal diffère du minéral ; puisque les maladies ne peuvent pas être considérées comme une armée d'êtres parasites, quoique les parasites puissent amener des conditions morbides ; puisque l'organisme malade continue à fonctionner conformément aux conditions spéciales dans lesquelles se trouvent ses organes, c'est-à-dire que les fonctions sont toujours les mêmes quoique les proportions varient : pour tous ces motifs, le sujet qu'étudie le pathologiste est virtuellement le même que celui sur lequel le physiologiste fait ses expériences, et par suite la méthode de l'un ne peut être différente de celle de l'autre. L'un et l'autre s'appuient sur l'observation, l'expérience, les essais et la mesure pour vérifier la série des circonstances qui, pour le premier, présentent un ensemble de fonctions régulières, et pour le second constituent la maladie.

Si le médecin compte le nombre de pulsations d'un malade qui a la fièvre, il fait à vrai dire ce que fait le physiologiste qui observe les faits analogues, soit que le premier observant, par exemple, en vue d'un cas où l'inflammation produite par une plaie excite par action réflexe les nerfs cardiaques, soit

Digitized by Google

que l'autre ait excité le tronçon central d'un nerf pneumogastrique pour agir également par action réflexe sur l'autre nerf pneumogastrique et sur les nerfs sympathiques qui se perdent dans le cœur. Lorsque pour savoir si la communication est encore librement établie entre la trompe d'Eustache et la cavité pharyngo-laryngée, le médecin prie son malade d'aspirer profondément, puis, en fermant la bouche et le nez, de comprimer l'air aspiré, qui, au cas de libre communication, frappe intérieurement contre la membrane du tympan, le médecin ne fait pas une chose essentiellement différente de ce que ferait le physiologiste qui, dans les mêmes circonstances, quoique en vue d'un autre but, aurait introduit dans la trachée d'un animal un manomètre, et expérimenterait ainsi la pression exercée par l'air renfermé dans les poumons pendant la respiration. Et le médecin qui, après avoir observé chez son malade une soif inextinguible, la quantité et la pâleur des urines, la maigreur, la faiblesse et une excessive sécheresse de peau, soupçonne que son malade a le diabète sucré, et examine les urines pour y découvrir le sucre ; ce médecin suit-il d'autres règles, obéit-il à d'autres préceptes que le physiologiste qui étudie la digestion des fécules ? Et dans un cas de fièvre typhoïde, lorsqu'il importe que le médecin mesure le danger et observe la température du patient, devra-t-il par hasard s'y prendre d'autre sorte que le physiologiste qui veut mesurer l'élévation de température d'un lapin auquel il aurait coupé l'un des nerfs sympathiques ?

Non, messieurs, les moyens d'observation, les règles d'expérimentation, le mode de critérium, quand on veut faire un examen scientifique et rigoureux, sont absolument les mêmes en pathologie qu'en physiologie. La seule différence est dans les circonstances qui, à égalité de développement, seront plus compliquées dans le cas pathologique que dans le problème physiologique, quoique dans un problème physiologique difficile elles soient plus complexes que dans un cas de maladie simple et facile ; plus complexe, par exemple, quand le physiologiste étudie l'influence des nerfs sur le cœur, que lorsque le médecin examine un simple cas de catarrhe gastrique. Dans la plus grande partie des cas, la tâche du médecin sera plus épineuse, parce que presque jamais il n'a la faculté de mesurer exactement l'intensité du phénomène qu'il a sous les yeux. Le physiologiste qui veut savoir si la lumière augmente le dégagement d'acide carbonique exhalé par un animal pèse cet animal ; le pathologiste, pour arriver au même but, dans un cas de fièvre de nature douteuse, le pèserait volontiers, mais souvent la compassion que lui inspire le malade l'empêchera d'éprouver ainsi la force respiratoire. En pareil cas le médecin envisage d'autres phénomènes que présente le malade, et si c'est l'énergie de la métamorphose régressive qu'il veut connaître, il pourra déterminer la quantité d'urée que le malade élimine en vingt-quatre heures par les urines. Mais pour ce faire il ne pourra choisir d'autres moyens que ceux-là même que la chimie et la physique lui enseignent, aussi bien à lui qu'au physiologiste.

Je ne veux pas dire que la pathologie puisse se confondre avec la physiologie. Quoique ce soit le même sujet qu'étudient et le pathologiste et le physiologiste, bien qu'une seule méthode doive guider leurs pas, restent les diverses circonstances, dont je parlais tout à l'heure, au milieu desquelles ils examiminent l'organisme dont ils veulent comprendre et juger les fonctions. Ces circonstances distinguent le sujet spécial de la pathologie de celui qui est soumis à l'observation du physiologiste. Mais cette diversité est de la nature de celle qui existe entre les travaux du naturaliste qui hier examinait un limaçon et qui aujourd'hui étudie une sèche, et les analyses d'un chimiste qui aujourd'hui examine des carbonates, des silicates, des tartrates de potasse, de chaux, d'oxyde d'antimoine, et qui demain analysera les marnes d'un champ et peut-être le tartre stibié de nos pharmacies. Qui oserait dire que parce qu'elles ont des sujets divers, la chimie agricole et la chimie pharmaceutique ne sont plus de la chimie ? Un chimiste ne dira pas que parce qu'il connaît la composition du sucre il connaît aussi celle de la salicine ; mais pour analyser celle-ci il devra se servir de moyens tout à fait analogues à ceux dont il s'est servi pour analyser celui-là.

« Eh bien ! soit », me dira, je suppose, un de mes contradicteurs qui aura suivi jusqu'ici sans prévention le développement de mes idées. Je vous accorde que la pathologie et la physiologie ont le même sujet, la même méthode : aurez-vous prouvé par là que la physiologie est d'une si grande utilité pour la pathologie ? Et pensez-vous justifier cet axiome que la physiologie est le cœur de la médecine ? Si les circonstances au milieu desquelles l'organisme se présente au pathologiste et au physiologiste diffèrent autant entre elles que l'argonaute et l'huître, ou que le tartrate de potasse et le tartre stibié, pourquoi ne nous renfermerions-nous pas tout simplement dans l'étude de la maladie et des malades, après nous être toutefois entourés de quelques notions élémentaires anatomico-pathologiques, si j'ose m'exprimer ainsi, et tout autant qu'il en faut pour suivre tout simplement le sang dans son cours, et pour savoir qu'il existe des nerfs moteurs, des nerfs sensitifs, des nerfs mixtes ?

Je vais vous le dire, messieurs, dans une formule qui à première vue vous paraîtra peut-être hardie, mais que je me propose de justifier, de démontrer et de faire accepter par vous tous.

Si nous ne pouvons imaginer ni inventer à l'aide des faits physiologiques les faits pathologiques, c'est cependant grâce à la physiologie seule que nous sommes à même d'expliquer, de comprendre et d'interpréter les phénomènes que nous présente le malade. Les faits ne s'imaginent ni ne se devinent, il faut les observer ; mais cela ne suffit pas, il faut encore trouver le lien qui les unit à d'autres faits, pour en faire l'historique, en éclairer l'origine, en prévoir le dénouement probable. Et notez bien que si je parle de la nécessité de comprendre les phénomènes de la maladie, ce n'est pas pour m'élever dans les régions abstraites de la science et me donner ainsi le prestige d'un philosophe, je veux qu'on comprenne les phénomènes, pour qu'ils ne restent pas lettre morte et pour qu'ils soient cette parole vivante qui nous dicte les raisons qui doivent nous guider dans nos opérations pratiques.

En effet, que peut signifier un symptôme pathologique, pour celui qui ne sait pas en quoi il s'écarte de l'ordre physiologique ? Le même phénomène peut dépendre de causes très-diverses, et le médecin qui veut le combattre doit remonter à la véritable source du mal. Mille fois dans le cours de votre carrière médicale il vous arrivera d'observer des individus atteints de dyspnée, c'est-à-dire d'une difficulté dans la respiration. Si le malade tousse ou crache, s'il se plaint de la poitrine, et si de plus il a la fièvre, vous ne tarderez pas à reconnaître une maladie des organes respiratoires ; vous tâcherez de distinguer si c'est une bronchite, une pneumonie ou

Digitized by Google

une pleurésie, ou bien une maladie où se rencontrent mêlés tous ces éléments principaux, et vous tiendrez compte de toutes les différences spécifiques qui peuvent en caractériser la nature et l'origine. Mais souvent vous observerez cet essoufflement chez une jeune fille pâle et affaiblie, dont les poumons ne présentent aucune trace de maladie ; souvent ce sera chez un homme en proie à des accès de fièvre intermittente, tout en ayant la poitrine saine. Une autre fois chez un pauvre enfant atteint d'une laryngite croupale sans que, dans ce cas-là, la trachée et les bronches soient atteintes, ou chez un cholérique dont la vie est en danger; ou enfin, chez un malade atteint de rhumatisme articulaire compliqué d'endocardite. Vous trouverez encore la dyspnée dans les maladies du cœur caractérisées par le mauvais fonctionnement des valvules mitrales ou par l'étranglement de l'orifice auriculo-ventriculaire gauche; dans l'hydropisie abdominale, dans la grossesse; enfin, dans les cas innombrables où les poumons peuvent être intacts ou influencés par une maladie dérivant de l'affection d'un autre organe plus ou moins éloigné.

Dans tous ces cas-là, la difficulté de la respiration est le signe d'un échange incomplet entre le gaz acide carbonique du sang veineux et l'oxygène de l'air atmosphérique. Mais ce désordre, chez la jeune fille chorotique, dépend de l'insuffisance des globules rouges du sang qui attirent et transportent dans le corps l'oxygène inspiré, et rendent ainsi un service considérable à la respiration. Pendant les frissons de la fièvre intermittente, le froid de la peau est causé par la diminution du sang que les artères contractées conduisent à la surface du corps; par suite de cette diminution le sang afflue en grande quantité aux parties internes et particulièrement vers la muqueuse des bronches; celle-ci se gonfle et produit ainsi obstacle à l'accès de l'air inspiré dans les vésicules pulmonaires. Ce sont les pseudo-membranes du larynx et peut-être la faiblesse des muscles laryngés qui resserrent la glotte dans le croup, cette maladie meurtrière qui tue par une véritable suffocation tant de pauvres enfants. Dans le choléra asiatique, par suite des fréquentes déjections abdominales, le sang privé de la quantité d'eau ordinaire, et par conséquent devenu épais et visqueux, passe difficilement par les vaisseaux capillaires des poumons. Dans l'endocardite, ce qui souffre c'est l'activité du cœur, dont le muscle, baigné de lymphe séreuse, subit une mauvaise nutrition, ralentit la circulation et paralyse ainsi la fonction respiratoire. Si les valvules mitrales ne ferment pas suffisamment l'orifice auriculo-ventriculaire pendant la systole du ventricule gauche, le sang qui devrait battre seulement contre l'aorte est refoulé dans l'oreillette, et de là pendant la diastole de celle-ci le sang qui revient des poumons ne peut se verser librement dans le cœur; il en résulte une congestion du sang dans les vaisseaux pulmonaires qui, en gonflant la muqueuse des bronches, produit l'essoufflement. C'est d'une manière analogue que la difficulté de la respiration provient de l'étranglement, de la sténose (qui est le mot propre) de l'orifice auriculo-ventriculaire gauche, parce que l'oreillette avec sa systole n'a pas le temps voulu pour pousser la quantité du sang nécessaire dans le ventricule. D'une manière plus indirecte, l'hydropisie abdominale peut occasionner l'hypérémie dans les bronches : le liquide renfermé dans le sac du péritoine comprime l'aorte abdominale, et produit ainsi une augmentation de pression du sang dans l'aorte thoracique et ensuite un épanchement collatéral vers les poumons, de la même manière que s'établit la circulation collatérale au moyen des rameaux de l'artère dont on a lié le tronc. Chez la femme grosse, l'augmentation de volume de l'utérus pourra ajouter à cet épanchement collatéral l'embarras dans les mouvements du diaphragme et causer des dérangements plus graves quand les évacuations abdominales ne se succèdent qu'irrégulièrement.

A la jeune fille chlorotique vous donnerez une nourriture substantielle et abondante, dont vous favoriserez la digestion, et des ferrugineux; vous ne combattrez l'essoufflement dans la fièvre intermittente qu'en réchauffant la peau; dans le croup vous chercherez à éliminer les pseudo-membranes du larynx; vous garderez autant que possible une attitude passive devant les désordres de l'endocardite, attentifs cependant à soutenir les forces du malade, afin que le cœur compense, dans une juste mesure, par une plus grande énergie dans ses contractions, la défaillance valvulaire; vous aurez peut-être à administrer la digitale dans la sténose de l'orifice auriculo-ventriculaire, pour diminuer les battements du cœur et laisser ainsi à l'oreillette le temps de verser le sang en plus grande quantité dans le ventricule; vous conseillerez à la femme enceinte de tenir le ventre libre et de ne prendre que des aliments d'une digestion facile qui n'encombrent pas les intestins.

Je vous demande maintenant : qui est-ce qui enseigne au médecin le rôle important que jouent dans la respiration les globules du sang, l'action des nerfs vaso-moteurs pour resserrer le volume des artères, les fonctions de la glotte et des muscles laryngés, l'obstacle qui est opposé à la circulation du sang quand celui-ci est plus épais que de coutume, les rapports intimes qui lient la respiration à la circulation, l'augmentation qu'opère dans la pression sanguine le resserrement d'un gros vaisseau, le rôle principal qui appartient au diaphragme dans la respiration paisible? Qui enseigne tout cela au médecin si ce n'est la physiologie?

Celui qui comprend les symptômes, comprend la maladie. C'est là une proposition générale; mais c'est surtout vrai des contingences que l'ancienne médecine énumérait empiriquement comme autant de complications de la maladie. Depuis que la méthode physiologique a fécondé les études pathologiques, nous voyons chaque jour se restreindre le champ de ces complications que l'on croyait accidentelles ou incompréhensibles tout au moins. Les concomitances que jusqu'ici l'on avait cru fortuites se déterminent et s'expliquent l'une l'autre; et tant d'éventualités que le médecin devait autrefois confier à sa mémoire plutôt qu'à sa raison, qui le surprenait lorsqu'elles n'étaient pas familières à ses souvenirs, aujourd'hui il les comprend, parce qu'on a reconnu qu'elles sont étroitement connexes et qu'elles sont liées entre elles par la loi absolue de développements nécessaires.

Vous ne tarderez pas à observer, dans certaines maladies où le tissu pulmonaire est réduit à offrir une petite surface pour l'échange de l'oxygène de l'atmosphère et de l'acide carbonique du sang, — comme dans la cirrhose, par exemple, ou l'emphysème des poumons, — une dilatation du cœur droit, une bronchite, un engorgement du foie, un catarrhe de l'estomac. L'analyse physiologique vous fera comprendre que l'imperméabilité ou la destruction d'un grand nombre de vaisseaux capillaires pulmonaires doit produire un développement persistant du cœur droit, et enfin l'hypertrophie, parce que celui-ci ne peut se dégorger dans le réseau insuffisant des vaisseaux pulmonaires. Étant donnée cette hypertrophie dans

Digitized by Google

le compartiment du cœur qui verse le sang dans les poumons et reçoit celui du foie, le sang doit séjourner dans cet organe, où la circulation a à vaincre une si grande résistance ; le phénomène se propage de proche en proche, d'abord à la muqueuse gastrique, d'où le sang se porte au foie par la veine porte, et puis à la muqueuse des bronches et accompagné de l'affluence collatérale du sang, il produit le catarrhe bronchial. La résistance que le sang de la veine porte, où débouchent les veines du péritoine, doit surmonter dans le foie, engendre l'hydropisie, comme l'obstacle qui s'oppose à la respiration produit les symptômes de l'asphyxie, parmi lesquels la cyanose est le plus ordinaire. De l'emphysème des poumons à la dilatation du ventricule droit, de celle-ci au catarrhe des bronches et à la stagnation du sang dans le foie, de l'engorgement hépatique au catarrhe stomacal et à l'hydropisie, il ne s'agit que d'un seul et même développement qui parcourt ses phases successives. Et si la distribution irrégulière du sang, dont je viens de parler, se combine avec une nutrition insuffisante de l'organisme, si l'essoufflement se complique de l'exténuation et de l'abattement, c'est là un épisode d'histoire physiologique dans les mauvaises conditions que nous présente l'ensemble des phénomènes pathologiques.

A peine un symptôme pathologique est-il réellement compris, qu'il passe dans l'ordre des faits physiologiques, se manifestant avec des proportions, ou dans un lieu et un temps inaccoutumés. Il n'y a pas longtemps que, pour expliquer certains phénomènes qui succédaient à une maladie, on parlait, même dans les livres les plus renommés, de transport de matières nuisibles appelées métastases, qui rendaient ainsi raison des symptômes le plus récemment survenus, sans le moins du monde s'occuper de décrire la matière nuisible d'une manière palpable. L'analyse clinico-anatomique de la marche et des dépôts de la maladie a donné un corps à cette supposition, mais sous une forme bien différente de celle que l'on imaginait autrefois. Elle a démontré, par exemple, que dans l'inflammation de l'endocarde, appelée endocardite, il se fait, sur les excroissances des valvules, des dépôts de caillots de fibrine, qui, dès qu'ils se détachent des valvules du cœur gauche, entrent dans le torrent sanguin et vont obstruer des vaisseaux éloignés. Ces caillots fibrineux, appelés embolies, se rencontrent tantôt dans le cerveau, tantôt dans les plèvres, tantôt dans l'estomac, et peuvent se transporter jusque dans les reins, dans l'artère hépatique ou dans une artère bronchiale. Plus le calibre de ces vaisseaux est considérable et plus seront considérables les dommages causés par le défaut de sang dans ce réseau de la circulation. Il en résultera une atrophie, ou même une nécrose des parties de l'organisme qui en dépendent. Dans d'autres cas, prévalent les effets de la fluxion collatérale produite par la plus ou moins grande obstruction des vaisseaux, et ces effets peuvent se manifester sous la forme d'hémorrhagies apoplectiques. Il s'agit réellement d'une matière nuisible; mais loin d'être la cause première de la maladie, elle est un produit de la maladie, qui obéit aux lois hydrauliques de la circulation. En somme, la doctrine hypothétique de la métastase s'est en bonne partie transformée par la connaissance particulière des embolies. Un chapitre vague de la pathologie générale est devenu un paragraphe spécial de l'hydraulique physiologique. Il est prouvé que ce qui paraissait un caprice du hasard est l'accomplissement fatal d'une loi naturelle.

Je ne veux pas, messieurs, dans cette première réunion, abuser de votre bienveillante patience, ni faire preuve d'ostentation en accumulant les exemples avec lesquels je veux montrer combien les phénomènes morbides sont équivoques et d'une apparence trompeusement accidentelle, tant qu'ils n'ont pas été éclairés par l'interprétation physiologique. Les faits pathologiques restent muets tant que le flambeau de la physiologie n'est pas venu les transformer en phénomènes transparents, qui nous révèlent leurs rapports fonctionnels; et l'analyse rationnelle, bien que sommaire, du premier signe de maladie venu, suffit à nous convaincre du sens rigoureux où doit être entendue cette proposition, que la pathologie se fonde réellement sur la physiologie.

Mais il y a plus. Non-seulement le fait observé chez le malade n'a aucune signification lorsqu'il n'est pas éclairé par les lumières de la recherche physiologique, mais encore le pathologiste, au point où en est la science aujourd'hui, serait souvent dans le plus grand embarras pour l'observer, s'il ne pouvait s'appuyer sur le secours que la physiologie lui fournit avec libéralité.

Supposons qu'il se présente à vous un malade qui se plaint d'un mal de gorge, de la difficulté qu'il a d'avaler la salive et les mucosités qui lui encombrent le gosier et la bouche; la première chose à faire, même avant l'obligatoire tâtement du pouls, ce sera d'examiner le voile du palais. Or, votre patient ne sait ni abaisser la base de la langue, ni lever le voile du palais, et vos efforts à déprimer la langue n'ont d'autre effet que de provoquer des nausées. Allez-vous renoncer à un examen qui ne paraît pas vous réussir? Voici la physiologie qui vous dit que pour prononcer la voyelle *a* nous abaissons la langue et nous élevons le voile du palais forcément et involontairement, et que ce résultat est obtenu avec plus de succès lorsque la voyelle *a* se prononce avec ce que l'on appelle une forte aspiration, ce qui n'est, physiologiquement parlant, qu'une expiration faite avec la bouche largement ouverte. Vous invitez donc votre malade à prononcer énergiquement *ha*, *ha*, et le plus souvent il vous sera facile d'examiner la luette, les amygdales et les piliers du voile du palais.

Une autre fois, vous soupçonnez l'existence d'un ulcère dans le conduit auditif externe; vous voulez, pour mieux l'observer, introduire le spéculum auriculaire. Mais, tant que le patient tient la bouche fermée, il vous est difficile d'introduire votre instrument dans ce canal étroit et tortueux, parce que la partie cartilagineuse est comprimée par l'apophyse condyloïde de la mâchoire inférieure. Prions la physiologie de nous aider à faire passer les branches du spéculum dans le canal auditif. Il suffit, dit-elle, de faire ouvrir largement la bouche au malade, afin que l'apophyse du condyle, en glissant sur le tubercule de l'arc zygomatique, se retire de la partie cartilagineuse du conduit auditif et cède à la pression de l'instrument.

Je ne devais choisir ici, messieurs, que des exemples accessibles à ceux d'entre vous qui sont encore au seuil, non-seulement de la pathologie, mais aussi de la physiologie. Mais, anticipons. Demandez aux oculistes avec quel succès ils sont parvenus à restreindre le champ de ces maladies des yeux que l'on réputait incurables, depuis que la physiologie a armé de l'ophthalmoscope l'œil du médecin, qui, il y a peu d'années encore, devait rester aveugle en face du fond de l'œil malade. Que d'affections du larynx que le médecin croyait inaccessibles à

Digitized by Google

ses soins, parce qu'il ne pouvait en constater la nature et qu'il avait épuisé le champ des probabilités, que d'affections du larynx il est arrivé à vaincre avec le bistouri ou avec la pierre infernale depuis que le laryngoscope lui permet de porter ses regards dans ce sanctuaire, jusque-là impénétrable, où s'agitent les cordes vocales inférieures?

En traitant des secours que nous fournit la physiologie pour reconnaître ces symptômes révélateurs de la nature de la maladie, je suis déjà entré dans l'ordre des secours que la physiologie prête à la médecine, non-seulement comme science, mais aussi comme art de guérir. Mais elle ne se contente pas de guider les premiers pas que doit faire le médecin pour reconnaître le côté accessible des souffrances qui mettent la vie du malade en suspens ou en danger. La physiologie, avec ses enseignements, va bien au delà de la tâche d'observer les faits pathologiques et de les expliquer de manière à en faire des faits médicaux clairs et nets.

Ces maladies, que l'on doit regarder comme le plus dur et le plus triste fléau du genre humain, la scrofule, par exemple, et la phthisie pulmonaire, sont, la plupart du temps, le résultat d'une mauvaise alimentation. C'est une vérité si reconnue, que je ne vais pas m'arrêter à vous la prouver. Je veux appeler plutôt votre attention sur les cas où la physiologie montre au médecin où il doit prendre les aliments qui conviennent le plus à la nutrition des individus confiés à ses soins.

Heureusement, ce ne sera pas toujours pour des malades que l'on réclamera ces soins. Vous voilà appelé au milieu d'une famille nouvellement arrivée dans une grande ville. La mère est inquiète, parce qu'elle a à nourrir un enfant de quelques semaines ; elle n'a pas de lait, elle ne trouve aucune nourrice qui lui inspire confiance, et vous n'en connaissez peut-être pas vous-même ; celles qui ont du lait ont une maladie particulière, celles qui sont assez saines ont le sein aride. Vous voulez donc substituer au lait de la mère le lait de vache, mais vous voulez que celui-ci se rapproche le plus possible du lait de la femme. Or, le lait de vache contient plus de caséine et plus de beurre; en revanche, il est moins riche en sucre et en eau. Vous recommanderez alors d'ajouter au lait de vache de l'eau et du sucre dans une proportion que vous aurez à établir suivant le cas. Mais il peut se faire aussi que cette famille, étrangère qu'elle est, ne puisse pas trouver dans cette grande ville du lait de vache non falsifié. Vous n'aurez pas foi, et avec raison, dans la soupe de fécule ou d'arrow-root. Vous voulez un véritable équivalent du lait, eh bien! la physiologie vous apprend qu'en battant le jaune d'œuf avec de l'eau sucrée, vous obtenez une émulsion qui peut remplacer le lait avec le plus grand avantage. J'ai moi-même, avec cette matière, d'où le petit poussin tire de quoi créer son corps, fait élever des enfants qui, par leur parfait développement, auraient pu être présentés aux expositions d'enfants bien nourris qu'on a essayées en Amérique.

Avec un exemple choisi dans la diététique, j'ai voulu insister dès aujourd'hui sur une vérité qui, quoiqu'elle ne soit pas reconnue de tous, fait cependant tous les jours de nouveaux progrès parmi ceux qui exercent l'art de guérir ; à savoir que l'hygiène publique et la diététique privée, dans un nombre déterminé de cas, valent plus que tout l'attirail pharmaceutique, non-seulement pour prévenir, mais encore pour combattre les maladies. Et ici je ne m'arrêterai pas à vous parler des droits de maternité que la physiologie revendique sur l'hygiène, parce qu'il suffit de feuilleter un manuel d'hygiène quelconque pour se convaincre que cette science, la plus utile de toutes, doit ses préceptes aux enseignements que la physiologie, éclairée par la chimie et la physique, nous a donnés sur l'atmosphère et les eaux, la terre et la nourriture, les habitations, la manière de se vêtir, l'habitude de se baigner, les exercices des muscles et de l'esprit, le travail et le repos, la génération et la sépulture des hommes. Conserver le bénéfice de la santé est certainement le plus noble et le plus utile attribut de l'art de guérir, et tous ses enseignements ont nécessairement un caractère physiologique. C'est la physiologie qui doit indiquer les moyens de maintenir l'état physiologique chez l'homme.

Mais quand l'équilibre des fonctions est troublé, la physiologie vient encore révéler au médecin les moyens de porter secours à la fonction embarrassée, et ces moyens inspirent toujours plus de confiance que les remèdes spécifiques.

Il n'est que trop vrai que, dans quelques cas, les préceptes enseignés par la physiologie sont eux-mêmes empiriques par leur nature. Il en serait ainsi de la découverte de Vella, sortie de ce laboratoire, que le curare, de même qu'il paralyse les effets de la strychnine, poison produisant des convulsions tétaniques par la plus faible excitation des nerfs sensitifs, peut de même vaincre le tétanos traumatique (1). Dans le même sens, on pourrait appeler empirique l'application de l'atropine pour dilater la pupille et du calabar pour la contracter. Cependant l'art de guérir devra reconnaître les services que lui rend l'expérimentation physiologique, quand il en résulte une utilité aussi directe que dans l'exemple du curare et de l'atropine.

Ces services prennent un caractère plus scientifique et revêtent l'autorité d'un ensemble logique, lorsque après s'être rendu compte du désordre de la fonction, la diététique ou la thérapeutique peuvent répondre aux exigences du moment. Ainsi étant connu l'usage du suc gastrique, et le fait que sa sécrétion est très-limitée dans le catarrhe stomacal, dans la fièvre, dans la convalescence, la diététique physiologique en conclut que, dans ce cas-là, il faut donner peu de nourriture, afin que le catarrhe gastrique n'empire pas, ou, s'il n'existe pas encore, qu'il ne se déclare pas. Et c'est encore un précepte de physiologie qui nous dicte une grande prudence dans la prescription d'une diète sévère quand on traite de petits enfants, parce qu'ils succombent d'inanition plus facilement que les adultes.

Dans votre carrière future, que je vous souhaite heureuse et féconde, messieurs, vous vous trouverez en présence d'accidents qui vous feront désirer de rendre alcalines les urines de votre malade, soit qu'il souffre de la goutte, soit qu'il présente les symptômes urinaires provenant d'un excès d'acide urique. La physiologie vous conseille de faire consommer par ces malades une certaine quantité de fruits, pour que les sels des acides organiques contenus dans les fruits se transforment par la respiration en carbonates, auxquels l'urine devra la réaction alcaline qui lui permettra de tenir en dissolution une plus grande quantité d'acide urique. Et si vous pensiez, comme vous penserez probablement, que vous ne devez pas vous contenter de faciliter l'élimination de l'acide urique déjà formé, mais qu'il convient encore d'em-

(1) Voyez les leçons XXIX et XXX du cours de *médecine expérimentale* de M. Cl. Bernard en 1865, *Revue des cours scientifiques* du 10 juin 1865, page 463 et suivantes.

Digitized by Google

pêcher la formation d'un excédant d'acide urique, recourant encore aux lumières de la physiologie, vous apprendrez que l'acide urique, en s'oxydant par suite de la respiration, se convertit en urée et acide carbonique; alors vous tâcherez d'activer la respiration, en partie par l'exercice dans un air pur, en partie par l'interdiction des nourritures et des boissons, comme les boissons alcooliques par exemple, qui enlèvent l'oxygène aux substances animales de l'organisme. Vous limiterez aussi l'usage des matières azotées, dont la transformation donne naissance à l'acide urique, précurseur de l'urée.

Une autre fois, vous serez consultés par une femme stérile, stérile parce que le mucus vaginal acide, en sursaturant l'alcalinité du sperme, enlève aux spermatozoïdes la motilité voulue pour féconder l'œuf. Si, en pareil cas, la femme vous confie son ardent désir d'être mère, vous lui conseillerez des injections de phosphate de soude qu'elle s'administrera avant les rapports conjugaux.

Il est hors de doute que, dans maintes occasions, la thérapeutique a empiriquement trouvé le moyen d'adoucir les souffrances des malades, et qu'elle l'exploite avec une sûreté assez satisfaisante. Il me paraît pourtant que la main du médecin qui, dans un cas d'ascite, c'est-à-dire d'hydropisie du péritoine, fait la ponction de l'abdomen pour diminuer l'essoufflement du patient, doit agir avec une plus grande confiance quand elle est guidée par cette pensée, qu'en donnant issue aux eaux contenues dans le ventre, elle supprime la pression que ces eaux exerçaient sur l'aorte abdominale, et par là même la fluxion collatérale qui occasionnait le catarrhe des bronches. Et, dans certains cas où la circulation hépatique est embarrassée, le médecin donnera d'une main plus prodigue les drastiques et purgatifs, s'il est encouragé par cette idée que les contractions de la membrane musculaire de l'intestin doivent agir comme force auxiliaire pour pousser le sang à travers le réseau vasculaire de la veine porte. Et la transfusion du sang, pratiquée depuis deux siècles dans cette Italie? Elle a été reprise avec ardeur, quand la physiologie eut montré par des expériences diverses et multipliées, qu'elle était un moyen merveilleusement efficace pour ranimer, après d'énormes et de rapides pertes de sang, la flamme fugitive de la vie. Ce serait ici le cas de parler de ces surprenantes applications de l'électricité dans des maladies qui paraissaient désespérées avant que les illustres Italiens, Galvani, Volta, Nobili, par des moyens physico-physiologiques, eussent ouvert la voie. Ce serait ici le moment de proclamer que la physiologie de l'œil a fait découvrir de nouveaux ordres et de nouvelles familles de maladies, perturbations d'accommodation, de réfraction, de motilité, et que cette même physiologie de la vision a indiqué les remèdes dans des cas dans lesquels il y a dix ans, dix ans seulement, messieurs, les pauvres aveugles n'avaient pour tout remède que leur triste résignation! Mais ce n'est ici ni le temps ni l'occasion de parcourir ces glorieuses régions conquises à la médecine par la physiologie, parce que je devrais entrer dans de longues explications que je dois réserver pour les leçons suivantes.

Le médecin qui ne se rend pas compte de ses procédés ressemble à un homme qui posséderait une montre et qui pousserait le régulateur du retard ou de l'avance, sans savoir en quoi ce mécanisme influe sur la marche des roues. Tout ce que sait le médecin dont je parle consiste à allonger ou à raccourcir le pendule; il fortifie ou affaiblit, il calme ou il excite : voilà les deux ordres d'idées très-restreints qu'embrasse toute sa science.

Je me résume, messieurs. La physiologie nous enseigne la méthode pour observer la maladie, elle nous explique et nous fait comprendre les symptômes observés, elle nous donne les moyens rationnels de combattre le mal.

Avant que la physiologie n'eût commencé à éclairer la pathologie d'une manière si efficace, le patrimoine de cette dernière science ressemblait à celui de la botanique taxinomique : l'une et l'autre ne faisaient que rassembler des matériaux, celle-là des symptômes de maladies, celle-ci des plantes spéciales. Pour concentrer ces matériaux isolés dans l'idée générale de la plante vivante ou l'histoire de la maladie qui se déroule dans le développement des fonctions, la botanique taxinomique dut se soumettre à la physiologie végétale, et les études médicales recevoir de la physiologie leur valeur scientifique.

Mais ce n'est pas à dire, répétons-le, que la pathologie doive se confondre avec la physiologie. La pathologie a la mission difficile de recomposer synthétiquement cè que la physiologie a décomposé au moyen de l'analyse expérimentale. Pour chaque maladie, le médecin met à contribution la physiologie tout entière, et cela sans s'en rendre compte; en quoi il ressemble à un grand orateur, qui, bien qu'appliquant toutes les règles de la grammaire, n'en a pas conscience; et c'est dans ce sens que le tact médical, qui s'est parfois tant abusé, qui a été si complétement mystifié, ressemble, par sa rapidité, à la vive éloquence d'un facile penseur.

Notez bien, messieurs, que je n'ai pas dit que le *physiologiste* doit éclairer le pathologiste; j'ai dit, et je voudrais répéter sur tous les tons, que la *physiologie* est le fondement, le cœur et le flambeau de l'art de guérir. Ce n'est pas une question de personnes. Peu importe que le stéthoscope soit sorti de la clinique de Laennec, l'ophthalmoscope du cabinet de Helmholtz; peu importe que ce soit Garcia le chanteur, Czermak le physiologiste, ou Türk le médecin, qui ait mis le laryngoscope entre nos mains. Il n'est pas non plus question de deux sciences, dont l'une dériverait de l'autre. Il est question de la science. La rivalité entre les diverses branches de la médecine n'est pas moins absurde et impie que la jalousie de municipe entre les diverses provinces d'un noble pays. Mais néanmoins l'idéal développement de la science implique que la pathologie devienne une branche de la grande science physiologique, de même que, grâce au progrès, nous voyons peu à peu la physiologie rentrer dans le large champ des sciences physiques. La science n'a vraiment rien à perdre à ce que des physiologistes comme Magendie et Müller, Valentin et Helmholtz, Brücke et Cl. Bernard, du Bois-Raymond et Donders, Ludwig et Vierordt, deviennent dignes de porter le nom de physiciens ou de chimistes, et rendent ainsi partiellement à la chimie et à la physique les éminents services que nous devons à Liebig et Dumas, Mulder et Regnault, Lehman et Strecker, Magnus et Dulong, Piria et Matteucci.

Pour vous montrer l'influence féconde de la physiologie sur l'art de guérir, j'ai pris mon point de départ dans les assertions de Schönlein et de Bufalini, parce que ce sont de ces hommes dont toutes les paroles méritent de la considération. Mais, je le dis hautement, des paroles ne sont pas des opinions. Les hommes illustres qui ont provoqué ce discours de ma part n'ont pas été fidèles à l'anathème que leur parole a jeté à la face de la physiologie. Dans leur enseignement clinique, ils

Digitized by Google

ont été toujours physiologistes; s'ils combattent la physiologie, ce n'est pas qu'il leur manque la finesse des sens, la sagacité de l'esprit, la force du travail, c'est par une erreur analogue à celle des défenseurs de la force vitale, qui ont pris en haine la physique parce qu'ils craignent que cette science exacte n'envahisse trop rapidement le domaine de la physiologie pour y régner en souveraine, comme si la république de la science n'était pas assez vaste pour tous. Jugez les Schönlein et les Bufalini, non d'après leurs paroles, mais d'après leurs actes, et imitez leurs glorieux exemples. Vous suivrez ainsi les traces de savants qui, dans des temps plus heureux, ont pu cueillir des palmes physiologiques dans les Instituts de clinique, l'exemple de Skoda et Traube, de Frerichs et Virchow, de Griesinger et Oppolzer, de Graefe et Donders, de Porta, Roser et Billroth, de Tommasi et Concato.

L'imitation de pareils exemples vous donnera l'indépendance de la science. Si la médecine n'était pas aussi imparfaite, malgré les efforts de tant de siècles, si elle était plus facile et plus absolue, si la somme de ce qui est encore inconnu était moindre, vos maîtres pourraient se faciliter la tâche de faire l'éducation de bons médecins en donnant des règles simples, nettes et précises pour le soin des malades. Mais à chaque pas, l'art de guérir se trouve, non pas en présence d'un cas général pour lequel il y ait une belle règle toute prête, mais en face d'un problème individuel qui demande une solution spéciale, afin de conduire au traitement particulier qui satisfait aux exigences physiologiques du sujet.

Quand vous approcherez donc du lit du malade, ce ne sera pas avec la présomption de savants, ni avec une allure sacerdotale, mais avec les dispositions d'un homme consciencieux qui veut sans prévention prendre ses informations à la source des rapports physiologiques pour remédier à des cas particuliers. Votre ambition ne sera pas le titre du docteur, mais la modestie de l'investigateur, et ainsi, lors même que vous ne seriez ni écrivains ni auteurs de grandes découvertes, vous contribuerez tous au progrès de l'art de guérir, dont l'efficacité doit se mesurer à la science moyenne de la majorité des médecins et non à la célébrité des travaux d'un petit nombre de savants. Et puis, mes chers disciples, il suffit que vous vouliez sincèrement coopérer au développement de la médecine physiologique, dans le sens indiqué plus haut, pour que de vos rangs d'élite sortent des esprits distingués qui soient l'honneur de la science et de la patrie. Mais n'oubliez pas que nous ne serons tous de bons médecins qu'à la seule condition que nous aspirions sans relâche à être des médecins excellents.

MOLESCHOTT.

BULLETIN DES COURS

Cercle agricole de Paris. — Conférences scientifiques.

(Les vendredis, à huit heures du soir.)

12 janvier 1866. — M. PAYEN (de l'Institut) : Solfatares de Sicile ; exploitation, extraction du soufre ; nouvelles méthodes ; concurrence des pyrites ; raffinage. Applications anciennes et modernes ; serpents de Pharaon.

26 janvier. — M. MILLET : Culture de l'eau ; son passé, son présent, son avenir. Exhibition d'appareils et de produits pour les eaux douces et les eaux salées.

2 février. — M. l'abbé MOIGNO : Étude philosophique, physique et expérimentale des radiations lumineuses en général et de la radiation solaire en particulier.

16 février. — M. PAYEN (de l'Institut) : Clore-iode ; acide phénique ; agents chimiques de décoloration et de désinfection ; applications à l'hygiène publique et privée.

2 mars. — M. Albert GAUDRY : Histoire géologique du bassin de Paris.

16 mars. — M. Léon SIMON fils : Des maladies épidémiques, de leur préservation et de leur traitement.

23 mars. — M. LE MAOUT : Histoire des principales espèces du genre Abeille.

6 avril. — M. Léon SIMON père : De l'expérience dans les sciences naturelles, en particulier dans les sciences médicales.

20 avril. — M. l'abbé MOIGNO : Philosophie de la chimie ; énumération et raison dernière des lois qui président à la combinaison des corps simples ou composés, organiques ou inorganiques.

27 avril. — M. CONSTANTIN JAMES : De l'intelligence, du mouvement et du sentiment.

4 mai. — M. BABINET (de l'Institut) : Revue générale des sciences.

CONFÉRENCES DU CERCLE D'HORTICULTURE ET DE BOTANIQUE DU HAVRE

(du 16 novembre au 8 mars).

M. P. NICOLE. — Culture naturelle et artificielle des eaux, élevage du poisson.

M. P. CAHIERRE. — Examen comparé des fonctions de la nutrition et de la respiration chez l'homme et chez la plante.

M. RISPAL. — Chaleur, mesure des températures, changement de volumes, sources de chaleur, chauffage des appartements et des serres.

M. LENNIER. — Les parasites des végétaux.

M. BAYVEL. — Étude des aliments, des boissons, des tissus, des constructions, etc.

M. ***. — Définition de la science, ses principes, sa nature, ses conditions, ses développements, ses bienfaits.

M. TOUCHARD. — Arboriculture.

Athénée de Venise. — Conférences scientifiques.

(du 1er décembre 1865 à la fin de février 1866).

M. GIOVANNI BIZIO. — Sur quelques-uns des plus importants produits de la combustion du charbon fossile.

M. MICHELANGELO ASSON. — Sur la nécessité de pourvoir aux moyens domestiques et sociaux destinés à prévenir et à corriger les difformités des enfants.

M. FRANCESCO ROSETTI. — Des principaux phénomènes optiques.

M. DEMETRIO BUSONI. — La pile voltaïque.

M. MICHELE TRÈVES. Applications industrielles de la pile voltaïque.

M. GIOVANNI ZANON. — De la combustion et de l'incandescence.

M. DOMENICO TURAZZA. — Exposition populaire de la théorie dynamique de la chaleur.

Conférences scientifiques libres.

(récemment autorisées dans les départements).

AMIENS.

M. LENOEL. — 1° De l'instinct et de l'intelligence des animaux.
2° Sur l'œil dans la série animale.

M. BANDERALI. — 1° La mer : formation des mers, circulation des eaux, révolutions, déluges, marées, etc.
2° La terre : âges cosmogoniques et géologiques de notre planète, terrains éruptifs, terrains sédimentaires, diluvium.

M. POIRÉ. — 1° Changements d'état des corps.
2° La photographie.

M. HERBET. — 1° De la respiration.
2° Les médecins dans Balzac.

GARNIER. — Instinct et mœurs des insectes.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE NUMÉRO 6 6 JANVIER 1866

Paris, 5 janvier 1866.

M. Duchartre a lu, le 26 décembre dernier, à l'Académie des sciences, un mémoire relatif à l'influence de la lumière sur l'enroulement des tiges des plantes volubles. Le sens de l'enroulement des tiges est constant dans la même espèce, mais il varie d'une espèce à l'autre. Chez certaines plantes l'enroulement ne se produit que sous l'influence de la lumière solaire, et les spires sont d'autant plus serrées que la lumière frappant la tige est plus intense : dans l'obscurité, la tige devient parfaitement rectiligne. D'autres plantes volubles, au contraire, ne paraissent pas soumises à la même influence, et leur tige s'enroule aussi bien lorsqu'elle croît dans une obscurité complète que lorsqu'elle s'élève en plein jour, jusqu'au moment où elle finit par périr étiolée.

M. Claude Bernard a présenté, au nom de M. Balbiani, d'intéressantes recherches sur le rôle du noyau dans les cellules animales. Les travaux histologiques récents tendent de plus en plus à démontrer que les cellules animales possèdent individuellement les mêmes propriétés que les organismes plus complexes constitués par leur assemblage, et l'on sait depuis longtemps que le noyau de ces cellules est le principal agent de leur activité organique, sans cependant connaître le moins du monde la nature précise du rôle qu'il doit remplir. M. Balbiani avait déjà découvert dans les ovules de certains animaux des vacuoles transparentes, situées au sein de la tache germinative et douées de mouvements alternatifs de contraction et d'expansion; il était même parvenu à observer ces contractions de la tache germinative pendant la vie chez certaines petites espèces de vers dont le corps était plus ou moins transparent, et il avait déjà comparé ces phénomènes à ceux que présente la vésicule contractile des infusoires et des rhizopodes. Mais cette vésicule se trouve en rapport avec des canaux, tandis qu'on n'avait jamais rien trouvé de semblable dans les ovules ni dans les autres cellules animales : l'assimilation ne pouvait donc être complète. Mais cette difficulté n'existe plus, car M. Balbiani croit avoir découvert dans l'ovule des sortes de canaux vasculaires analogues à ceux qui aboutissent à la vésicule contractile des infusoires. Ses principales observations ont porté sur un myriapode, le Géophile longicorne.

« En plaçant sous le microscope l'ovaire fraichement extrait du corps de ce myriapode, dit M. Balbiani, et en examinant à travers les parois ovariques les ovules dont le vitellus possède encore toute sa transparence, on constate déjà, sans l'aide d'aucun réactif, la présence d'un organe doué d'un éclat plus grand que le vitellus environnant, et qui apparaît comme un prolongement de la vésicule germinative. Mais, pour s'en former une idée plus nette, il est indispensable de recourir à l'usage d'un réactif tel que l'eau légèrement acidulée. Ce prolongement se montre alors distinctement comme un canal infundibuliforme plus ou moins recourbé, dont la large ouverture est en continuité avec la membrane de la vésicule et dont l'extrémité atteint la surface du vitellus. Dans la plupart des cas, ce canal m'a paru se terminer brusquement en ce point, et s'ouvrir par un orifice circulaire sous l'enveloppe de l'ovule; cependant plusieurs fois il m'a semblé se continuer en un prolongement délié, émettant sur son trajet des ramifications qui s'étendaient plus ou moins loin à la surface du vitellus. Lorsque les lovules sont placés de telle sorte que la direction du canal soit à peu près horizontale, on observe fréquemment que l'axe de celui-ci est occupé par un canal intérieur d'un calibre beaucoup plus étroit, qui provient de la tache germinative et se rétrécit rapidement après avoir pénétré dans le canal extérieur. La tache est creusée, dans tous les ovules du géophile longicorne, d'un plus ou moins grand nombre de vacuoles, susceptibles, à tour de rôle, de se contracter et de se dilater alternativement. Au moment de l'expansion extrême d'une de ces vacuoles, les parois de celle-ci semblent se continuer directement avec celles du canal qui aboutit à la tache, et la vacuole apparaît alors comme l'extrémité élargie en ampoule de ce dernier. A un degré de dilatation moindre, et dans une vue de profil, elle ne paraît communiquer avec le canal que par un orifice étroit semblable à un pore percé dans la paroi du corpuscule germinatif. J'ai déjà dit que le canal extérieur pouvait être presque toujours suivi jusqu'à la surface du vitellus. Au contraire, le canal intérieur n'est visible que dans une courte portion de son trajet, à partir de son insertion au corpuscule, et on ne le voit presque jamais atteindre le point où le premier touche à la surface du vitellus. A plus forte raison, je ne saurais dire s'il se ramifie à l'intérieur de celui-ci et si ses ramifications accompagnent celles du canal dans lequel il est logé.

« La largeur et la longueur apparente des deux canaux emboîtés sont en rapport avec le degré de développement des ovules; ils paraissent se former de bonne heure et en même temps que les éléments auxquels ils correspondent, car je les ai observés dans les œufs les plus jeunes. Dans ceux d'un âge plus avancé, ils demeurent visibles tant que la transparence de ceux-ci n'est pas obscurcie par le dépôt des éléments vitellins, et il est probable qu'ils persistent aussi longtemps que la vésicule et la tache germinative elles-mêmes, et ne disparaissent qu'avec elles, c'est-à-dire à une époque plus ou moins rapprochée de la maturité de l'œuf. »

Dans la séance du 2 janvier, M. le Verrier a présenté une note de M. Cazin relative à des recherches sur les applications de la théorie mécanique de la chaleur dont il avait été chargé par la commission de physique de l'association scientifique. M. Dupré avait déduit des équations de la théorie mécanique de la chaleur la pro-

Digitized by Google

position suivante : Il y a pour chaque liquide une température à laquelle sa vapeur saturée peut subir une détente ou une compression infiniment petite avec sursaturation continuée; à une température inférieure, la détente est accompagnée d'une condensation et la compression d'une surchauffe spontanée; à une température supérieure, c'est l'inverse qui a lieu. Ce théorème n'avait pas encore été l'objet d'une vérification expérimentale : c'est cette vérification que M. Cazin a entrepris de faire, et son travail n'est qu'un premier pas dans une nouvelle voie de recherches qui contribueront beaucoup à l'avancement d'une des branches les plus importantes de la physique.

M. le Verrier a donné quelques détails fort curieux sur un bolide observé le 7 décembre dernier, en Bretagne et dans le midi de la France. Ce bolide était environ à 55 kilomètres de la terre quand il a fait explosion, et l'on a comparé ses dimensions à celles de la lune dans son plein; mais il y a là sans aucun doute une illusion d'optique due au grand éclat de ce météore, encore augmenté par un temps couvert, car cela supposerait un diamètre de 830 m., et on n'a jamais rien observé qui approche de cela.

Citons enfin un mémoire de MM. Sarneronet et Urbain sur les huiles de pétrole et les moyens de reconnaître leur faculté explosible, un mémoire de M. Contejean sur les phénomènes diluviens, une note de M. Rolland relative à un régulateur de la pression de la vapeur.

L'année 1865 étant expirée, M. Laugier, vice-président, remplace M. Decaisne au fauteuil de la présidence; l'Académie a procédé à la nomination du vice-président pour 1866. M. Chevreul a été nommé au second tour de scrutin par 26 voix sur 47 votants, contre 21 voix données à M. Claude Bernard.

Tous nos lecteurs connaissent sans doute le nom de M. Virchow comme homme d'État et comme savant. Membre de la chambre des députés de Prusse, il y est un des chefs les plus marquants de l'opposition. L'Allemagne ne possède pas à l'heure qu'il est de physiologiste plus illustre que lui, et il est au delà du Rhin le principal promoteur de la médecine fondée sur la physiologie, médecine qui du reste a fait bien plus de progrès chez nos voisins que chez nous. ÉMILE ALGLAVE.

CONFÉRENCES LIBRES DE BERLIN.

PHYSIOLOGIE.

M. VIRCHOW.

La vie du sang.

Il existe depuis fort longtemps dans la médecine deux partis opposés, qui comprennent différemment la pathologie ou étude de la médecine, selon la manière dont ils considèrent la nature de la vie. On a appelé leurs doctrines humorales ou solidistes, selon qu'ils cherchent la vie dans les parties liquides (*humores*) ou dans les parties solides (*solida*) des corps, ce qui leur fait ajouter une importance spéciale pendant la maladie, tantôt aux parties liquides, tantôt aux parties solides. La théorie humorale est la plus ancienne et elle a joui de la plus grande faveur jusqu'à nos jours. On comprend très-bien que parmi les liquides du corps, l'un surtout devait attirer l'attention, le sang, « le plus noble des liquides », dont les peuples guerriers reconnaissent l'importance vitale dans leurs combats de tous les jours. Les livres religieux de l'antiquité en témoignent suffisamment.

On lit dans le IIIe de Moïse, XVII, 24 : « La vie du corps est dans le sang aussi longtemps que ce sang vit. » Une phrase encore plus expressive se trouve dans le Ve livre, XII, 23 : « Le sang est l'âme, voilà pourquoi tu ne mangeras pas l'âme avec la chair. » Ce n'était là qu'une considération mécanique très-grossière qui n'a cédé que peu à peu sa place à une autre hypothèse que nous trouvons encore maintenant dans la science, et qui ne voit plus dans le sang l'âme elle-même, mais bien le siége de l'âme, c'est-à-dire du principe qui seul est capable de vivifier le sang.

Lorsque les doctrines de la pathologie solidiste se développèrent, surtout lorsque, dans ces derniers temps, le système nerveux prit une importance de plus en plus grande dans l'esprit des savants, il parut plus convenable de placer la vie et l'âme dans les parties solides et dans les plus nobles de ces parties, dans les centres nerveux. Ce fut là l'origine de la nouvelle direction dans laquelle s'engagea la pathologie qui ne vit plus dans le sang qu'un liquide offrant les conditions les plus favorables à l'action des nerfs. La question devint de plus en plus inabordable aux gens du monde, et les discussions sur ce sujet, qui intéresse au plus haut point tout homme pensant, furent à peu près complétement reléguées dans le cercle des médecins érudits.

Cet état ne peut durer toujours. L'homme instruit ne doit pas seulement connaître son corps parce que cette connaissance fait partie de l'instruction générale, mais bien plutôt parce que l'idée que nous nous faisons de nous-mêmes devient le point de départ de toutes nos pensées sur l'homme. Lorsqu'on place la vie dans l'âme et qu'on sépare, ainsi que cela se fait généralement aujourd'hui, l'âme entièrement du corps de manière à ne faire de celui-ci qu'un objet sur lequel elle exerce son influence, le corps devient quelque chose d'infime, de commun, qu'on cherche autant que possible à placer au second rang, et dont la destruction devient même une condition indispensable d'émancipation complète de l'âme. La vie du corps n'est plus la véritable vie; elle n'est plus qu'une vie étrangère, une espèce de vie apparente, une illusion, un masque.

L'homme n'est conduit que trop fatalement à cette conclusion, lorsque dans son égoïsme il se considère comme un être à part dans l'univers. Ce point de vue a, lui aussi, ses raisons d'être, mais il n'est point naturel. L'observation la plus immédiate des peuples primitifs encore à l'état d'enfance, porte sur l'homme dans ses rapports avec l'univers, et toutes les langues transportent la vie bien loin au delà de l'homme, et en font participer un plus grand nombre d'êtres. Les recherches scientifiques confirment cette manière de voir, elles constatent une analogie intime de causes et de phénomènes non-seulement chez les hommes et chez les animaux, mais aussi chez les plantes. Si donc on veut faire de la vie et de l'âme une seule et même chose, il ne suffit pas de parler d'âmes animales, il faut y joindre aussi les âmes des plantes. C'est peut-être là une conception fort poétique, mais personne ne pourra s'empêcher

Digitized by Google

d'avouer qu'elle sacrifie tous les avantages que l'égoïsme humain cherche à retirer de pareilles spéculations; pour sauver au moins une partie de ces avantages, il faut, dans le domaine des âmes, établir entre les âmes plus ou moins perfectionnées une différence semblable à celle que la science de la nature établit d'une tout autre manière entre la vie et l'âme. En effet, la science considère *les manifestations de l'âme comme l'expression la plus élevée de la vie dans l'être doué de l'organisation la plus parfaitement appropriée à ce but.*

Nous savons maintenant que toute vie animale ou végétale est liée à la cellule organique, et que tous les phénomènes vitaux sont les résultats de l'activité des cellules qui bâtissent le corps vivant d'une manière tantôt simple, tantôt plus compliquée; il ne nous reste donc plus qu'à conclure que chaque partie cellulaire isolée possède la vie en propre. La vie de l'ensemble est alors la somme, la résultante de la vie des parties isolées, et l'on ne pourra considérer comme vivantes que les parties dont on aura constaté la nature cellulaire. Pouvons-nous dans ce sens parler de la *vie du sang?*

Il n'y a guère que deux siècles qu'on a reconnu que le sang n'est pas un simple liquide ni un simple mélange de différents liquides, ainsi que toute l'antiquité et le moyen âge l'ont admis. Un naturaliste italien, Marcello Malpighi, vit le premier, sous le microscope, non-seulement le déplacement du sang dans les vaisseaux les plus déliés, mais aussi les corpuscules sanguins. Les idées qui régnaient alors dans la science ne permettaient guère d'apprécier toute l'importance de cette découverte. Au contraire, on fut de plus en plus porté à admettre que presque tous les liquides, non-seulement les liquides les plus variés de l'économie animale, mais même l'eau ordinaire, sont remplis de petits corps qu'on a même quelquefois supposés animés. Une des hypothèses les plus répandues de nos jours est celle qui consiste à admettre que chaque goutte d'eau contient un nombre innombrable d'êtres animés, et que nous avalons en buvant des armées de petits animaux; il y a même des personnes qui se font un cruel plaisir de penser à ces myriades d'infusoires qui répandent la vie dans la nature entière. Ce ne sont là encore que des illusions. L'eau pure est aussi microscopiquement pure, et la plupart des liquides du corps animal, surtout les liquides d'excrétion, ne contiennent aucune partie solide ou ne renferment qu'accidentellement quelques corps non animés.

Il n'en est pas de même du sang. Sans corpuscules, point de sang; ce n'est que par ces corpuscules que le sang devient véritablement du sang; qu'on les lui enlève, et il ne restera plus qu'un simple liquide, un liquide incolore, un liquide comparable au pus ichor que les anciens Grecs regardaient comme le sang des dieux. Le sang de l'homme et de tous les vertébrés est rouge, et cette couleur, qui persiste aussi longtemps que le sang reste sang, est due à la présence de petits corpuscules, les corpuscules du sang ou globules sanguins. Certainement on trouve aussi, dans le sang de l'homme, des corpuscules incolores ou, comme on les appelle encore, des globules blancs, il arrive même que dans les cas de maladies, principalement dans la maladie que j'ai décrite sous le nom de *Leukämie*, le nombre des globules blancs devient tellement considérable qu'on peut, au moins au figuré, parler de « *sang blanc* ». Mais ce n'est pas là le vrai sang; l'homme ne saurait continuer à vivre avec ces globules blancs.

Les globules rouges sont de très-petits organismes. Ils ont l'aspect de petites plaques rondes, semblables à de petites pièces de monnaie et écrasées un peu vers le centre, de sorte que la partie centrale est un peu plus mince que les bords. Ce sont des lentilles biconcaves tellement minces que leur diamètre est près de cinq fois plus grand que leur épaisseur. Environ 1500 de ces lentilles superposées formeraient à peu près une ligne d'épaisseur, tandis que 300 à 400 de ces lentilles juxtaposées suffiraient pour occuper la longeur d'une ligne. (Voy. la fig. 4, p. 18, numéro du 9 décembre 1865.)

D'après les calculs de Vierordt et de Welcker, chaque millimètre cube de sang d'homme renfermerait à peu près 5 millions de ces globules; la même quantité de sang de femme n'en renferme que 4 millions et demi. Dans la totalité du sang d'un homme, on trouverait à peu près 60 billions de ces petits corps. Quel monde de petits corps dans une seule partie de la vie humaine! quelle quantité innombrable et étonnante d'organismes actifs! Des billions d'étoiles remplissent l'espace céleste, mais des billions de lieues les séparent et affaiblissent leurs actions réciproques; chacune d'elle parcourt, à peu près solitaire, l'orbite qui lui est tracé. De même, des billions de corps circulent dans le sang de l'homme, mais la distance qui les sépare est toute petite; car le fluide dans lequel ils nagent et qui les sépare ne forme pas une masse double de celle de l'ensemble des corpuscules eux-mêmes. Ici, l'*action à distance* est à peu près éliminée; toute action des globules les uns sur les autres, comme aussi toute action du sang sur les autres parties du corps se produit à de très-petites distances, presque au contact immédiat. Ici, l'*influence de contact* (catalyse) peut être mise au premier rang, et l'on ne saurait douter de sa puissance quand on considère le nombre innombrable d'unités agissantes.

Mais les globules du sang sont-ils les unités agissantes et vivantes du sang? C'est sous ce point de vue surtout que notre manière de concevoir ces phénomènes diffère le plus et de la théorie ancienne et de la doctrine nouvelle. La doctrine ancienne trouvait dans le mouvement du sang une raison importante pour admettre la vie du sang. Quant à nous, nous apprenons la circulation du sang en apprenant à parler, et il nous est certainement très-difficile de nous figurer bien nettement les idées que les anciens se faisaient du mouvement du sang. Nous oublions trop facilement que ce n'est qu'en 1628 que le célèbre médecin des rois Stuarts, William Harvey, donna la démonstration de la circulation du sang, et que ce n'est que de nos jours que les anatomistes allemands ont prouvé que, dans son long parcours, le sang est contenu dans des tubes fermés, dans des vaisseaux à parois propres. Nous savons maintenant que le cœur est le centre, l'organe actif et travaillant, qui envoie toujours de nouvelles masses de sang dans les artères, qui fait avancer ce liquide dans les vaisseaux jusqu'à ce que, par les capillaires, il s'introduise dans les veines pour de là retourner au cœur qui le renvoie de nouveau dans les artères. Pour nous, tout ce mouvement du sang est un mouvement mécanique dans l'acception la plus grossière de ce mot; il n'est pas propre au sang, qui le reçoit, au contraire, du dehors. Le sang est passif, l'activité n'appartient qu'au cœur, et jusqu'à un certain point aux vaisseaux. Que le cœur s'arrête, et toute la circulation s'arrêtera de même.

L'antiquité n'avait aucune idée de la circulation. Elle ne connaissait pas les vaisseaux capillaires qui établissent une communication libre entre les artères et les veines; elle ne savait pas que les artères contiennent du sang, et qu'à chaque pulsation correspond l'introduction d'une

Digitized by Google

nouvelle portion de sang. D'après les anciens, le sang ne se déplaçait que dans les veines; les artères, au contraire, ne contenaient que de l'air, ce qui leur fit donner leur nom d'artères. Le mouvement du sang ne pouvait donc consister qu'en un déplacement alternatif dans les deux sens : le sang coulait alternativement en avant et en arrière. Comme on était disposé à attribuer à tout transport de ce genre un but spécial bien déterminé dans chaque cas particulier, on supposait que tout mouvement devait être produit par une cause intérieure dont la grandeur et l'importance variaient avec les différentes écoles.

Dans notre siècle matériel, on a de nouveau essayé d'attribuer au sang une certaine cause intérieure de mouvement. C'est en vain! L'état et la composition du sang peuvent favoriser ou rendre plus difficile son mouvement; quant à la cause du mouvement, la force qui le produit a son siége en dehors du sang. Le mouvement n'est pas la vie du sang, il n'est que le moyen qui permet cette vie; le mouvement lui-même n'est que le résultat de l'action du cœur vivant, le résultat d'un travail musculaire; car le cœur est le plus puissant de nos muscles.

Voilà comme on est arrivé peu à peu à ne plus considérer le sang comme un liquide portant la vie en lui ou comme une partie animée de notre corps. On savait depuis longtemps qu'il contient des corpuscules, et cependant on ne voyait en lui qu'un liquide animé d'un mouvement mécanique, et qui, semblable à un fleuve, charrie, pour les déposer çà et là, les substances qui s'y introduisent. On s'habitue à ne voir dans le sang qu'un centre d'échanges de matières, dans lequel les divers éléments sont introduits par des moyens mécaniques aussi grossiers que le mouvement mécanique lui-même, dont ce fluide est animé. Je dirai plus, c'est là encore en ce moment l'hypothèse de tous les naturalistes qui n'examinent la vie qu'au point de vue grossier de la chimie.

Pour nous qui partons de la théorie cellulaire de la vie, il existe certainement une vie propre au sang, un mouvement intérieur et vivant, indépendant du mouvement qu'il reçoit du dehors. Le sang n'est pas seulement un fleuve charriant les éléments variables des différentes parties du corps, il n'est pas seulement une large route livrée aux échanges, il contient aussi les travailleurs actifs, sans lesquels tout échange est impossible. Ces travailleurs sont les globules. Ils sont obligés de faire une rude corvée, il faut qu'ils marchent là où le cœur les pousse et non là où ils voudraient aller; ils ne sont même pas capables de vouloir, et cependant ils sont actifs de leur nature; ils ont une activité propre, et la durée de cette activité est intimement liée à la durée de la vie.

Il nous suffira, pour le moment, de rappeler ce qui nous paraît être l'occupation principale des globules du sang. Nous voulons parler du *transport des gaz*, phénomène qui, pris dans son ensemble, porte le nom de *respiration*. Le sang part du cœur ou plutôt du ventricule droit, entre dans l'artère pulmonaire, et va dans les poumons absorber l'oxygène de l'air inspiré. Chargé de cet oxygène, il retourne dans le ventricule gauche, qui le lance dans les artères. Le sang se distribue ainsi dans toutes les parties du corps, à la surface extérieure comme à l'intérieur. Il se débarrasse plus ou moins complétement de son oxygène, et absorbe par contre un autre gaz, l'acide carbonique. Chargé d'acide carbonique, il revient dans le ventricule droit du cœur, pour être de nouveau lancé dans les poumons. En échange de l'oxygène qu'il absorbe dans les poumons, il abandonne son acide carbonique, qui retourne à l'atmosphère avec l'air expiré. (Voy. un schème représentant l'ensemble de la circulation, fig. 8, p. 21, numéro du 9 décembre 1865.)

C'est là la marche simple et grossière que tout le monde connaît. Mais on ne se rappelle que trop rarement, et ce reproche s'adresse à beaucoup de médecins, que ce sont les globules qui sont le nœud de tous ces phénomènes. Accordons quelques instants d'attention à ces petits organismes, à ces grands bienfaiteurs du corps, à ces travailleurs laborieux.

Tout globule sanguin, de même que tout élément organique, est primitivement une cellule. Comme tel, il consiste en un noyau, en une membrane et en un contenu renfermé entre la membrane et le noyau. Tous les animaux vertébrés, à l'exception des mammifères, conservent le noyau de leurs globules; chez les mammifères et chez l'homme, ces noyaux se détruisent tôt ou tard, et le globule qui circule avec le sang n'est plus qu'un corpuscule aplati, renfermant dans une enveloppe très-élastique un liquide plus ou moins dense. C'est la membrane qui conserve au globule sa forme, qui maintient le contenu liquide, et assure par conséquent l'existence temporaire de cet élément histologique; elle se laisse traverser par certaines substances, et est imperméable à d'autres, elle protége donc le contenu contre une foule d'influences nuisibles auxquelles il serait exposé sans elle.

Mais la partie essentielle du globule est le contenu liquide. C'est une masse rouge qui donne au sang sa couleur et qui produit de même la coloration de la surface du corps, surtout des lèvres et des joues. Cette masse rouge consiste en une réunion de plusieurs substances dont l'hématosine forme la majeure partie. Cette matière, qui est la véritable substance colorante du sang, absorbe l'oxygène et accomplit l'échange des gaz. Ainsi les globules du sang, tant qu'ils contiennent l'hématosine à son état naturel, sont les véritables *respirateurs* du corps. Dans la distribution du travail entre les différents éléments vivants du corps, la fonction de respirer leur est échue en partage.

Pour que les globules puissent remplir cette fonction, il faut qu'ils soient transportés à la place où ils doivent travailler, il faut qu'ils trouvent à leur portée les matériaux qu'ils doivent employer. C'est là l'idée qu'on doit se faire de la circulation du sang. Nulle part les conditions indispensables à un pareil travail ne se trouvent réunies aussi bien que dans les poumons. Pendant l'acte de l'inspiration, l'air se précipite dans les voies aériennes grossières, bouche ou nez, larynx et trachée-artère, qui le conduisent dans les poumons où il va remplir de petites poches appelées vésicules pulmonaires. C'est là que le sang chargé d'acide carbonique arrive, poussé par le ventricule droit, et subit le contact de l'air. Dans les parois des petites cellules pulmonaires, incomplétement recouvertes par une couche de tissu cellulaire très-mince, se répandent en nombre si prodigieux les vaisseaux capillaires les plus fins, que l'espace qui existe entre ces vaisseaux est à peine aussi grand que celui occupé par ces capillaires lorsqu'ils sont remplis de sang. La plus grande masse de sang vient ici se mettre aussi parfaitement que possible en contact avec l'air inspiré; l'acide carbonique s'échappe du sang pour se mêler à l'air, en même temps l'hématosine des globules absorbe l'oxygène atmosphérique; chaque inspiration renouvelle l'air et introduit de nouvelles quantités d'oxygène atmosphérique dans le sang.

Digitized by Google

C'est là l'air vital que l'homme inspire par le nez et par la bouche et qu'on insuffle aux personnes qui sont

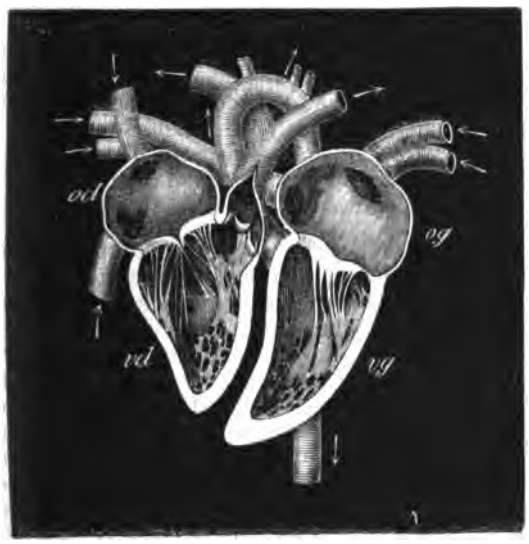


Fig. 24. — Coupe longitudinale du cœur de l'homme montrant ses quatre cavités.

od. Oreillette droite. — *vd*. Ventricule droit. — *og*. Oreillette gauche. — *vg*. Ventricule gauche. — Les flèches placées à l'embouchure des divers vaisseaux aboutissant aux cavités du cœur indiquent le sens du courant sanguin dans ces vaisseaux.

en léthargie. C'est là l'esprit vital que l'antiquité a confondu avec l'âme et que la langue grecque a réuni avec le souffle sous une seule et même dénomination : *Pneuma*. C'est de là que vient cette locution allemande : *seine Seele aushauchen*, exhaler l'âme. Toute partie du corps a besoin, pour accomplir ses fonctions, de quantités d'oxygène toujours renouvelées, ou, pour parler plus exactement, de nouvelles quantités de sang artériel chargé d'oxygène ; de même que l'homme total étouffe dès qu'on lui enlève la possibilité de respirer, de même chaque partie vivante isolée étouffe dès qu'elle ne reçoit plus d'oxygène du sang : dès qu'elle ne peut plus respirer.

L'anéantissement subit de l'activité des parties les plus nobles, des centres nerveux, se désigne depuis les temps les plus reculés par le mot *apoplexie*. On sait que cette brusque interruption de l'activité cérébrale est due le plus souvent à la rupture de vaisseaux sanguins et à l'extravasation du sang qui se répand dans la matière cérébrale ; tantôt le cerveau se brise, tantôt l'affluence de sang artériel nouveau est empêchée. J'ai montré qu'il y a une autre espèce d'apoplexie qui se distingue de l'apoplexie ordinaire, coup de sang, en ce que à un moment donné il y a insuffisance de sang, parce que l'affluence du sang est interrompue par la présence de corps solides qui se forment dans l'intérieur des vaisseaux et qui empêchent le libre passage du sang (apoplexie par suite d'embolie). Presque au moment même où le vaisseau s'obstrue, la sensibilité, la volonté et la connaissance disparaissent.

Il en est des muscles comme du cerveau. Lorsqu'un muscle se contracte pour mouvoir le bras ou la jambe ou n'importe quelle partie du corps, il respire de l'oxygène. Lorsque l'artère qui va à ce muscle s'obstrue, le muscle est paralysé ; si l'obstruction persiste, le muscle prend la ridigité caractéristique qui se manifeste après la mort. Et en réalité, même dans le cas de la mort ordinaire, l'homme ne meurt pas tout d'un coup ; les différentes parties perdent successivement la vie et les propriétés vitales, et ce n'est que quand le système nerveux est complétement mort que les muscles commencent à mourir. Cependant la chair musculaire n'est pas encore complétement morte lorsque déjà la rigidité cadavérique s'est produite. M. Brown-Séquart coupa le bras déjà rigide d'un supplicié, se fit une saignée et injecta son sang chaud dans les veines de ce bras coupé ; au bout de fort peu de temps, les muscles se ramollirent et reprirent leur excitabilité pour mourir de nouveau un peu plus tard.

Ainsi, l'évanouissement et la léthargie alternent avec la force et la vie. N'est-ce pas un véritable air vital que celui qui, ainsi amené dans les différentes parties du corps, y produit de si puissants effets? N'oublions pas deux choses importantes. On a beau amener de l'air vital, il ne sert à rien si la partie ne vit pas ; il n'y a pas d'air vital qui puisse rappeler à la vie une partie du corps ou le corps total lorsqu'il est mort. La simple absorption d'oxygène ne produit ni la vie, ni la force, ni l'accomplissement d'aucune fonction. La partie morte absorbe, elle aussi, l'oxygène qui lui est présenté, mais elle n'en vit pas plus pour cela ; au contraire elle se décompose, elle redevient poussière, « *poussière dont elle était faite* ». Quelle contradiction ! Le même gaz qui donne au vivant une vie nouvelle, n'apporte au mort que pourriture et décomposition. N'y a-t-il pas là une illusion ?

Oui, il y a illusion. Mais l'expérience ne ment pas, c'est l'apparence qui nous trompe. L'oxygène produit dans les deux cas le même effet, non pas la vie, mais la décomposition. Il n'apporte à la partie vivante que ce qu'il apporte à la partie morte, de l'oxygène. En se combinant avec des éléments de la matière vivante ou morte, en les oxydant, en dissolvant et en décomposant ainsi les combinaisons primitives, il détruit, dans un cas comme dans l'autre ; la vie ne saurait se maintenir sous son influence, si la partie organique ne remplaçait pas continuellement les substances brûlées par d'autres substances, et si elle ne restituait par les résidus de l'oxydation, surtout l'acide carbonique, au sang qui les élimine. Sans les échanges de substances, l'oxygène détruirait les parties organiques vivantes, comme il détruit les parties inorganiques.

Nous rencontrons ici ce fait important, que les phénomènes de la vie que nous regardons comme les plus élevés et les plus nobles, l'activité des nerfs et des muscles par exemple, sont toujours accompagnés de variations chimiques du contenu cellulaire. Toute manifestation de l'activité vitale est accompagnée d'une destruction de certaines parties du corps, et la manifestation n'est possible qu'à cette condition. Ainsi *toute fonction est intimement liée à des changements mécaniques de la substance*. Mais quelque grandes que soient les pertes occasionnées par ces changements, elles peuvent toujours être compensées, et elles ont en même temps une très-grande importance pour l'ensemble de l'organisme.

La combinaison de l'oxygène avec les corps organiques, l'oxydation de la substance organique, s'appelle combustion. Lorsque la substance organique se trouve dans les conditions les plus favorables, la combustion se fait avec dégagement de lumière ; nous voyons la flamme. Si la combustion ne se fait que très-lentement ou sur une substance très-diluée, nous ne sentons que la chaleur. C'est ce qui se passe dans le corps. L'organisme se chauffe lui-même, il a une chaleur propre et toute

Digitized by Google

manifestation de la vie en augmente la quantité. Toutes les parties du corps sont susceptibles de se brûler, mais toutes ne s'y prêtent pas de la même manière; certaines d'entre elles sont plus fixes, plus consistantes, d'autres sont plus mobiles et offrent une résistance moindre. Mais toutes ont besoin d'une certaine chaleur pour se conserver et l'une pourvoit aux besoins de l'autre. Ce sont les globules qui amènent l'oxygène indispensable pour entretenir la combustion nécessaire pour chauffer toutes ces parties. Ainsi l'organisme est un grand fourneau qui se distingue surtout de nos fourneaux ordinaires parce qu'il a du bois en abondance et manque souvent d'oxygène, tandis que les fourneaux ordinaires ont de l'oxygène en abondance, mais manquent souvent de bois.

Les globules aussi, ces travailleurs actifs, s'épuisent peu à peu par leur travail et se détruisent. Leur substance se décompose, et des produits de décomposition de l'hématosine naissent les matières colorantes de la bile qui ne sont plus d'aucune utilité pour le corps et par suite sont éliminées. Où le sang va-t-il puiser ses nouvelles cellules? est-il assez fécond pour se reconstituer lui-même? Jusqu'ici il a été impossible de découvrir quelque chose d'analogue; bien plus, les sources de ce renouvellement de cellules se trouvent en dehors même du sang. Le sang ne se forme pas là où nous le trouvons; les globules sont des étrangers sur cette route qu'ils sont forcés de suivre, des émigrants qui ne trouvent plus de patrie et meurent pendant leur voyage. Le sang, pour se compléter, a besoin de corpuscules toujours nouveaux et en nombre d'autant plus considérable qu'il s'en détruit ou s'en perd davantage. *La perte elle-même doit être une excitation à de nouvelles formations.*

C'est en effet ce qui arrive. Le sang peut se compléter avec une rapidité étonnante après les plus grandes pertes, pourvu toutefois qu'il se trouve dans des conditions favorables. Mais aux dépens de quoi se complète-t-il? On se figure ordinairement que c'est aux dépens de la nourriture. Qu'on donne au malade une bonne nourriture, qu'on lui fasse manger beaucoup de bonne viande, et il ne tardera pas à avoir du sang. C'est possible, mais la viande seule ne suffit pas. Souvent on voit un homme devenir de plus en plus pâle, malgré la nourriture la mieux choisie, et la chlorose n'est pas du tout une maladie particulière aux pauvres et aux affamés. Telle ou telle substance autre que la viande ne suffit pas non plus. Depuis qu'on a reconnu que l'hématosine contient une certaine quantité de fer, on a commencé à traiter de plus en plus fréquemment la chlorose par le fer; mais le fer ne suffit pas toujours. Si les globules pouvaient se former tout d'une pièce par la combinaison de leurs éléments, s'ils pouvaient se déposer d'une eau mère, tout irait bien, mais toute cellule organique a besoin d'un organe producteur d'où elle tire son origine.

Le sang, lui aussi, possède des organes producteurs. Ce sont des glandes spéciales connues sous le nom de rate, et de ganglions lymphatiques; ces petits organes sont répandus dans différents endroits du corps, par exemple au cou et dans les grandes cavités intérieures du corps. Dans ces glandes naissent continuellement de nouvelles cellules qui sont entraînées par la lymphe et conduites dans le sang. L'état du sang dépend donc de la lymphe, et par suite des ganglions lymphatiques; aussi les maladies des ganglions lymphatiques exercent-elles une influence rapide sur la composition du plus noble des liquides. Dans la maladie qui affecte le plus souvent les ganglions lymphatiques, dans la scrofule, le sang s'appauvrit ordinairement avec une grande rapidité en corpuscules rouges, et les soins les plus minutieux ne suffisent pas toujours pour remettre ces organes générateurs en état de rendre au sang sa composition normale.

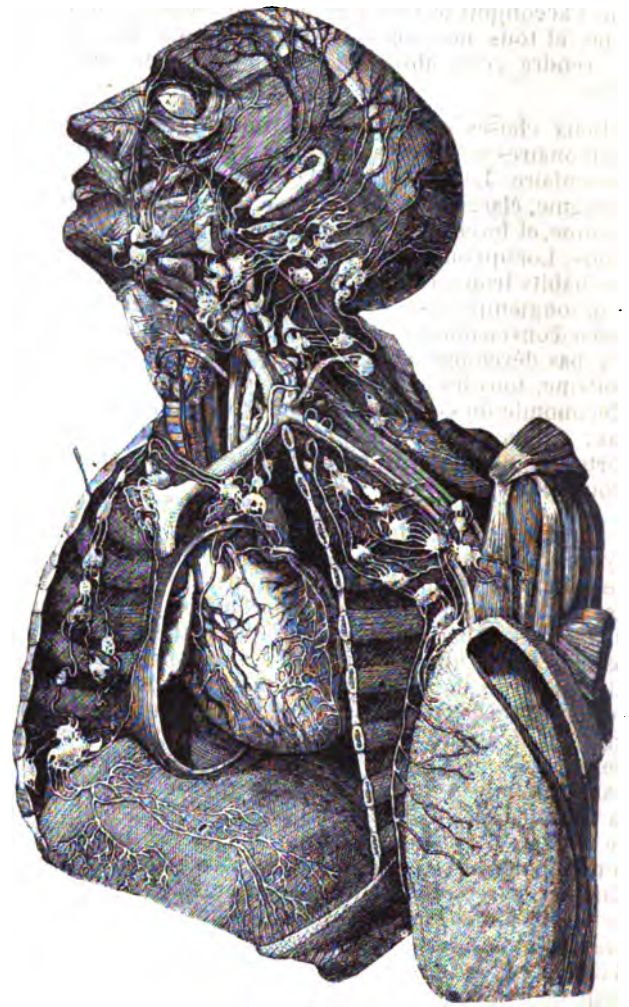


Fig. 25. — Vaisseaux lymphatiques et ganglions lymphatiques placés sur le trajet de ces vaisseaux dans la tête, le cou, les parois thoraciques, le cœur et le diaphragme — Les vaisseaux et ganglions lymphatiques se détachent en blanc.

Voilà la vie du sang: une histoire longue et pleine d'alternatives, remplie de faits et de souffrances, mais toujours également importante pour chaque partie isolée, aussi bien que pour l'ensemble du corps humain. Les organes générateurs, les ganglions lymphatiques, sont distribués dans différentes parties du corps, de sorte qu'un groupe de ces organes peut être inactif et même disparaître entièrement sans que la production de nouveaux éléments soit arrêtée. La nourriture et la boisson, l'air et la chaleur, le frottement et le choc, augmentent l'activité des organes générateurs. Mais trop d'excitation constitue un état de maladie : la glande se gonfle, son activité prend une autre forme, le sang souffre. Aussi le soin de la peau et des muqueuses, le choix d'aliments et de boissons peu irritants ont une importance capitale au moment où le développement du jeune homme est le plus actif.

Lorsque les globules sont arrivés dans le sang, il faut veiller avec le plus grand soin à l'échange des gaz. L'acide carbonique ne s'échappe pas seulement des pou-

Digitized by Google

mons, la peau en élimine une partie, aussi la propreté de la peau entretenue par des bains fréquents, son excitation par l'air frais et le froid sont d'une importance capitale. Mais les poumons n'en restent pas moins la partie la plus importante : car c'est dans cet organe que s'accomplit le véritable acte de l'absorption d'oxygène, et tous nos soins doivent se réunir dans le but de rendre cette absorption aussi complète que possible.

Deux choses sont surtout à observer. Les vésicules pulmonaires se remplissent d'air par suite d'une cavité musculaire. Les muscles respirateurs, surtout le diaphragme, élargissent par leurs contractions la cavité thoracique, et forcent ainsi l'air à se précipiter dans les poumons. Lorsqu'on gêne les mouvements respiratoires par des habits trop serrés ou par des corsets, lorsqu'on reste trop longtemps assis, et surtout si l'on n'a pas appris à se servir convenablement des muscles respirateurs, si l'on n'a pas développé suffisamment la gymnastique de la poitrine, tous les autres soins sont peu à près inutiles. L'économie du corps reste toujours incomplète dans ce cas; si l'on parvient à la remettre en état par toutes sortes de palliatifs, le moindre excès fait reparaître le trouble.

La plus grande liberté de mouvements, la meilleure gymnastique de la poitrine est insuffisante lorsque l'air ne vaut rien, lorsqu'il ne contient pas une quantité suffisante d'oxygène, et surtout s'il contient des substances dangereuses. Parmi les gaz qui peuvent se trouver répandus dans l'air, il y en a qui sont positivement nuisibles; d'autres ne présentent que des dangers négatifs en ce sens qu'ils sont incapables de remplacer l'oxygène qui fait défaut. Parmi les premiers, il faut compter l'oxyde de carbone; parmi les derniers, l'acide carbonique et l'azote. L'oxyde de carbone, gaz qui se produit dans la combustion incomplète du bois et du charbon, et qui se dégage si facilement de nos poêles lorsque nous interrompons trop tôt la combustion, est un vrai poison. En effet, il se combine avec l'hématosine comme l'oxygène, mais une fois qu'il s'est combiné avec cette substance, il est impossible de l'en séparer de nouveau. Tout globule sanguin qui a été empoisonné par l'absorption de l'oxyde de carbone devient incapable de respirer; il est complétement perdu pour le sang. C'est pour cela que des quantités même très-petites de ce gaz sont tellement dangereuses. Mais les autres gaz, qui ont plutôt un danger négatif, s'accumulent fréquemment dans les demeures mal ventilées et dans les ateliers de travail où ils rendent la respiration incomplète. C'est pour cela que les altérations du sang et les affections pulmonaires sont plus fréquentes dans les villes qu'à la campagne; c'est pour cela que les hommes s'étiolent sous l'influence de toute espèce de civilisation; c'est pour cela que la mortalité est ascendante malgré les progrès et les améliorations de la vie domestique. *La gymnastique, le travail et la ventilation sont les grands régulateurs de ces perturbations.* Sans eux le sang devient malade, sans eux la vie s'affaiblit, sans eux la mort fait des victimes de plus en plus nombreuses, et le travail fiévreux de notre civilisation ne fait que hâter la dégénérescence de l'espèce humaine.

Traduit sur le texte allemand de VIRCHOW
par FELTZ.

MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE.

PHYSIQUE VÉGÉTALE (1).

COURS DE M. GEORGES VILLE.

X.

Assimilation de l'azote. — Rôle de l'azote atmosphérique.

Dans notre dernière séance nous avons établi par des chiffres irrécusables l'existence constante, dans les récoltes, d'une quantité d'azote excédant celle qu'avait apporté l'engrais, et nous avons réduit à néant toutes les hypothèses qui ont été émises pour expliquer cet excédant en dehors de l'intervention de l'azote élémentaire de l'air. Dans un sujet moins grave que celui qui nous occupe, cette démonstration indirecte pourrait être suffisante, mais comme il s'agit d'une vérité de premier ordre, encore méconnue par la plupart des savants contemporains, il est indispensable de joindre les données de l'expérience directe aux arguments qui nous ont été fournis par la grande culture.

La preuve invoquée par la science est aussi simple que péremptoire. Semer des graines dans du sable calciné, les arroser avec de l'eau distillée parfaitement pure, et les cultiver dans l'intérieur d'une cloche à parois de verre, que traverse un courant d'air purifié de toutes les matières azotées adventives : voilà ce que la science a prescrit et réalisé quand elle s'est donné la tâche de définir le rôle de l'azote de l'air à l'égard des végétaux. Vous remarquerez que, dans ce système d'expériences, les plantes ne sont en rapport qu'avec l'azote à l'état de gaz. L'eau distillée n'est formée que d'hydrogène et d'oxygène, le sable servant de sol est de la silice pure, c'est-à-dire une matière absolument inerte offrant aux plantes un point d'appui, mais ne leur cédant rien; or, les pots également calcinés dans un four à porcelaine sont exactement dans le même cas. On a ajouté, il est vrai, au sable du phosphate de chaux, de la potasse, de la chaux, de l'oxyde de fer, du sulfate de chaux, en un mot tout ce qu'exige la végétation, mais à l'exclusion de tous composés azotés. Dans ces conditions, quel a été le résultat? Les récoltes ont accusé un excédant d'azote sur celui des semences, excédant dont l'origine ne peut évidemment être rapportée qu'à l'azote même de l'air.

Depuis quinze ans j'ai varié ces expériences à l'infini. Le résultat a toujours été le même : toujours l'azote de la récolte a dépassé celui de la semence. Parmi les preuves que je pourrais invoquer, je n'en citerai qu'une seule, l'expérience faite par moi en 1849. Je la préfère à toute autre, parce qu'elle fait époque dans ma vie, et qu'elle a été l'objet d'une vérification qui en atteste la parfaite exactitude.

EXPÉRIENCES SUR L'ABSORPTION DE L'AZOTE, PAR M. G. VILLE (2).

	Semences desséchées à 120 degrés.	Azote.	Récoltes desséchées à 120 degrés.	Azote.
	gr.	gr.	gr.	gr.
Cresson	0,531	0,026	8,73	0,147
Lupins (grands).	0,991	0,064	3,50	0,064
Lupins (petits)..	0,991	0,064	2,56	0,047
Total.	2,513		14,79	

Azote dans les semences. 0,154 Azote dans les récoltes 0,258

(1) Voy. les nos 32, 36, 38, 39, 44, 46, 48 et 51 de la 2e année, et le no 4 de la troisième.

(2) Recherches expérimentales sur la végétation, in-folio, chez Victor Masson.

Digitized by Google

RÉSULTAT DE L'EXPÉRIENCE.

Azote dans les récoltes	0,258
Azote dans les semences	0,154
Azote tiré de l'air	0,104

Il y a dans cette expérience une circonstance qui lui donne à mes yeux une valeur exceptionnelle. Elle se compose de trois cultures instituées, toutes trois, dans le même pot : sol, air, eau, tout étant absolument semblable entre elles. Or, sur les trois cultures, malgré cette identité de conditions, une seule a réussi complétement, celle du cresson. Une autre, celle des grands lupins, ne présente ni perte ni gain. Celle des petits lupins accuse décidément une perte, et cette perte s'explique par une circonstance tout accidentelle. Les feuilles s'étaient collées aux parois de la cloche et avaient subi une altération assez profonde pour arrêter le développement des plantes auxquelles elles appartenaient. On peut tirer de cette expérience deux conclusions pratiques : la première, c'est que toutes les plantes ne se prêtent pas au même degré à ce mode artificiel de culture; la seconde, c'est que le sable et l'eau distillés étaient bien réellement purs de tout principe azoté, puisque les grands lupins qui ont prospéré n'accusent, par rapport à la semence, aucun excédant d'azote.

Je vous ai dit que mon expérience avait obtenu les honneurs d'une vérification; permettez-moi d'en placer les résultats sous vos yeux.

EXPÉRIENCE DE VÉRIFICATION FAITE AU MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE

	Poids de la récolte desséchée à 120 degrés.	Poids de la semence desséchée à 120 degrés.	Rendement par rapport au poids de la semence.	Excédant d'azote dans la récolte
	gr.	gr.	gr.	gr.
N° 1	2,242	0,319	7,02	0,000
N° 2	1,506	0,127	11,08	0,007
N° 3	6,021	0,124	48,04	0,050

Vous le voyez, messieurs, cette expérience est la confirmation fidèle de la précédente, à cette différence près, qu'indépendamment du fait principal relatif à l'absorption de l'azote, elle marque le moment précis où cette absorption commence. Le rendement s'arrête-t-il à sept fois le poids de la semence? La récolte n'accuse ni perte ni gain, on y retrouve exactement l'azote de la semence. Au delà de cette limite, elle accuse un gain manifeste dont les expériences 2 et 3 vous permettent de suivre les progrès.

Consentez, je vous prie, à placer en regard de ces résultats ceux que M. Boussingault a publiés en 1852. Dans ses expériences les plus heureuses, le poids des récoltes atteint à peine quatre à cinq fois celui de la semence, et il n'a jamais réussi à dépasser la phase où la plante vit aux dépens de la graine. Or, que peut-on raisonnablement conclure de telles expériences?

RECHERCHES DE M. BOUSSINGAULT.

Culture dans une atmosphère confinée (1)

		Poids de la semence.	Poids de la récolte
		gr.	gr.
1851.	Haricot nain	0,78	1,87
	Avoine	0,37	0,54
1852.	Haricot flageolet	8,53	0,89
	Avoine	0,14	0,44
1853.	Lupins	0,62	1,82
	Lupin	2,20	6,73
	Haricot nain	0,79	2,35

(1) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, 1854, p. 1 et suiv.

Culture dans une atmosphère renouvelée (1)

1854.	Haricot nain	0,72	2,00
	Haricot nain	0,75	2,84
	Lupin	0,34	2,14
	Haricot nain	1,51	5,15
	Culture à l'air libre.		
1854	Haricot nain	0,65	2,72
	Cresson alénois	0,50	2,25

Ces rendements minuscules, anormaux par leur faiblesse, n'attestent-ils pas à nos yeux un vice radical dans le procédé d'expérimentation?

Je puis en dire autant des expériences publiées à Londres en 1861 par MM. Lawes, Gilbert et Evan Puch. Dans un sol dépourvu de toute matière azotée, ces expérimentateurs ont obtenu les résultats suivants :

Nature des plantes.	Poids des Semences sèches.	Poids des récoltes sèches.	Rapports des récoltes aux semences.
	gr.	gr.	
Blé	0,3065	1,412	4,60
Orge	0,2698	0,810	3,00
Orge	0,2698	0,925	3,43
Blé	0,4035	1,740	4,31
Orge	0,3221	0,560	1,73
Orge	0.2858	1,148	4,02
Blé	0,4031	1,060	2,62
Orge	0,3240	0,710	2,19
Avoine	0.2879	0,690	2,40
Fèves	1,4984	7,028	4,69
Fèves	1,4820	4,875	3,29
Pois	0,5405	0,970	1,79
Sarrasin	1,0000	0,451	0,45

Comment assimiler à une végétation véritable ces cultures dans lesquelles la plante sort à peine de la période de germination? Et comment s'étonner dès lors que les quantités d'azote fixé soient excessivement faibles ou même complétement nulles?

Nous venons de voir que, dans mes expériences, la fixation de l'azote n'avait commencé qu'à partir du moment où le poids de la récolte avait atteint sept fois celui de la semence. Tous les résultats que je viens de citer, et dans lesquels il n'y a pas eu gain d'azote, ne font que vérifier cette conclusion dans ce qu'elle renferme de négatif, mais ils ne peuvent en aucune façon servir à réfuter le rôle que nous attribuons à l'azote élémentaire, puisqu'ils n'ont pas été obtenus dans les conditions où son intervention peut se manifester.

En résumé, si l'on met de côté les questions de théorie et surtout les questions de personnes, il y a un fait sur lequel tout le monde doit tomber d'accord, c'est que ni les engrais, ni le sol ne fournissent aux végétaux la totalité de l'azote qu'ils contiennent.

Veut-on que l'excédant provienne de l'ammoniaque et des nitrates de l'air? Je le concède volontiers; mais alors je demande pourquoi ces composés, auxquels on attribue un rôle si important, ne manifestent pas leur influence sur les cultures faites en plein air par M. Boussingault. Pourquoi ces cultures n'attestent-elles jamais le moindre gain d'azote?

Si ces expériences ne sont pas défectueuses en quelque point, si vous les tenez pour exactes et probantes, prenez garde, car elles prouveront contre M. Boussingault que les nitrates et l'ammoniaque de l'air sont en proportion trop faible pour exercer un effet appréciable sur les végétaux; et nous reviendrons à

(1) *Annales de chimie et de physique*, t. XLIII, p. 149 et suiv.

Digitized by Google

notre point de départ : d'où vient, dans la grande culture, l'azote des récoltes dont ni les engrais ni le sol ne peuvent rendre compte?

Concluons donc que l'azote de l'air est assimilé par les végétaux, pour lesquels il est une condition d'existence.

Si la forme un peu concise et par trop abstraite, peut-être, de cette démonstration devait, contre mon attente laisser subsister le moindre doute dans vos esprits, j'ai lieu de penser que la nouvelle expérience dont je vais vous entretenir suffira pour le dissiper. Cette expérience est pour moi doublement précieuse : d'abord par son origine, puis et surtout par le caractère inattendu et inattaquable de la démonstration dont elle nous fournit les éléments.

Ayant eu l'idée d'étendre ses recherches d'un sol de sable calciné à un sol fumé, M. Boussingault institua dans l'intérieur d'un très-grand ballon de verre l'expérience que voici. A du sable calciné additionné des minéraux indispensables, il ajouta, à titre d'engrais azoté, six graines de lupin blanc privés de leur faculté germinative par leur immersion dans l'eau bouillante. Il sema dans le sol ainsi préparé trois autres graines de la même espèce, après quoi il ferma le ballon à l'aide d'un petit système qui permettait d'ajouter à l'air un excès d'acide carbonique. Dans ces conditions nouvelles, les lupins poussèrent beaucoup plus que dans le sable calciné additionné seulement de minéraux. La récolte accusa un gain d'azote considérable sur celui de la semence; mais, tout compte fait, l'engrais se trouva avoir perdu un peu plus d'azote que les plantes n'en avaient gagné. D'où M. Boussingault tire la conclusion *que l'engrais n'a pas déterminé l'assimilation de l'azote de l'air, et que l'azote de la récolte vient expressément de l'azote des semences et de l'engrais.*

Cette expérience a une portée capitale dans la question qui nous occupe. J'en ai vérifié plusieurs fois l'exactitude et je la tiens pour vraie dans son ensemble. Mais, et c'est ici que le dissentiment renaît, ces résultats prouvent réellement que l'azote à l'état de gaz est assimilé par les végétaux. Pour donner à cette démonstration un caractère irrésistible d'évidence, j'ai besoin de rappeler les chiffres mêmes de l'expérience de M. Boussingault qui lui sert de base :

CULTURE FUMÉE DE LUPIN BLANC, PAR M. BOUSSINGAULT (1).

	gr.	
		Azote au début de l'expérience.
Azote dans les semences.....	0,0365	0gr,182
Azote dans l'engrais.....	0,1462	
		Azote à la fin de l'expérience.
Azote dans la récolte.....	0,1165	0gr,169
Azote resté dans le sol.....	0,0532	
Azote perdu.....		0gr,013

L'ensemble du système accuse une perte de 13 milligrammes d'azote, mais, par contre, la récolte accuse un gain de 80 milligrammes :

	gr.
Azote dans la récolte.....	0,1165
Azote dans les semences.....	0,0365
Excédant dans la récolte.....	0,0800

Au premier abord, les résultats semblent justifier la conclusion qu'en a tirée M. Boussingault. Il n'en est rien cependant; avant de se prononcer, il eût fallu s'enquérir de ce que devenait l'engrais ajouté au sable. Il est manifeste que cet engrais, constitué par des graines de lupin, n'a pu être absorbé sous cette forme, et qu'il n'a pu concourir à la nutrition des plantes que par les produits de sa décomposition. Or ces produits sont au nombre de deux : ammoniaque et azote gazeux. Pour que la conclusion de M. Boussingault fût exacte et pour qu'il fût possible d'admettre avec lui qu'il n'y a pas eu assimilation d'azote à l'état de gaz, il faudrait que l'ammoniaque provenant de la décomposition de l'engrais pût rendre compte des 80 milligrammes d'azote gagnés par la récolte. Si la quantité d'ammoniaque est insuffisante, si l'azote qu'elle représente est inférieure à 80 milligrammes, l'engrais, dans l'acte de sa décomposition, n'ayant produit, en outre de l'ammoniaque, que de l'azote à l'état de gaz, ne sera-t-il pas évident pour vous, comme cela est manifeste pour moi, qu'une partie notable de l'azote fixé par les lupins l'a été sous forme d'azote gazeux? C'est, en effet, ce qui a lieu et ce que le tableau suivant devra mettre en pleine lumière :

EXPÉRIENCE DE M. BOUSSINGAULT, INTERPRÉTÉE PAR M. G. VILLE.

		gr.
Azote dans l'engrais, au début de l'expérience....		0,146
En se décomposant il produit :		gr.
Azote à l'état d'ammoniaque.....	0,036	0,146
Azote resté dans le sol.....	0,053	
Azote à l'état de gaz.....	0,057	

Dans ces termes le doute n'est plus permis. 36 milligrammes d'azote dégagé à l'état d'ammoniaque ne peuvent rendre compte des 80 milligrammes d'azote acquis par la récolte. L'expérience sous toutes ces formes nous conduit donc invariablement à la même conclusion, et tous les faits se réunissent pour attester que les végétaux possèdent bien véritablement la propriété d'assimiler à l'état de gaz, soit l'azote naissant, soit l'azote de l'air.

S'il n'en était pas ainsi, la dernière expérience que je viens de discuter nous mènerait à des conséquences singulièrement graves, heureusement démenties par tous les faits connus. En effet, puisque tous les composés organiques perdent en se décomposant une partie de leur azote à l'état de gaz, si les végétaux ne possédaient pas la faculté de s'assimiler l'azote sous cette forme, l'azote libre irait sans cesse s'accumulant à la surface du globe aux dépens de l'azote combiné; la végétation, impuissante à rétablir l'équilibre et disposant d'une quantité d'azote de moins en moins forte, devrait finir par s'éteindre sans retour.

J'ai répondu à toutes les objections, et je pouvais croire la discussion définitivement close sur ce point. Combien je connaissais mal ce que l'esprit de système peut mettre de ténacité au service des plus mauvaises causes! Depuis deux ans à peu près, il s'est produit une nouvelle théorie fort habilement présentée et sur laquelle on semblait d'autant plus compter qu'on pouvait penser qu'il serait impossible de la ramener à une question de chiffres, ce critérium souverain auquel il faut tôt ou tard en appeler pour prononcer en dernier ressort.

Je vous disais, il y a un moment, qu'un fait incontestable dominait nos dissentiments, et ce fait le voici : on ne trouve ni dans le sol ni dans les engrais l'explication de l'azote des récoltes, et il faut, de toute nécessité, choisir entre la supposition d'un gisement d'azote inconnu (1), ou admettre l'assimilation de l'azote à l'état

(1) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, 1854, t. XLI, p. 58.

(1) MM. Laves, Gilbert et Evan Puch, dans le travail que j'ai précédemment cité, n'ayant jamais réussi à obtenir un gain appréciable

Digitized by Google

gazeux. Ne pouvant soutenir sans preuve la première hypothèse et ne voulant pas se rendre à l'évidence de la seconde, on a eu recours à l'expédient suivant :

On a admis que l'azote de l'air sert à la nutrition végétale, mais après s'être transformé au préalable dans le sein de la terre, par une réaction encore inconnue, en acide nitrique. Le fait principal survit donc à la discussion, et le dissentiment ne porterait plus que sur un point de détail. Eh bien ! sur ce point, c'est la grande culture qui va se charger de mettre en évidence l'inanité de la supposition nouvelle.

De l'aveu de M. Boussingault, la luzerne accuse un rendement moyen annuel de 9000 kilogrammes par hectare, contenant 207 kilogrammes d'azote. Si l'on met à part la première année, la moyenne des rendements, pendant les quatre années suivantes, s'élève à 10415 kilogrammes, ce qui porte l'azote de la récolte à 239 kilogrammes. Ce dernier résultat est encore au-dessous des rendements de la culture intensive. Mais la manière dont M. Boussingault a fixé la proportion d'azote dans la luzerne n'est pas admissible. Il l'a déduite, en effet, d'analyses étrangères aux produits de la récolte. Il a de plus surélevé de un quart, sans en donner la raison, la proportion d'azote attribuée par lui au fumier de ferme (1).

Voulant m'éclairer sur l'économie de cette culture, j'en ai institué une semblable à Vincennes. La première année, le sol a reçu une fumure complète dans laquelle le nitrate de soude entrait pour une quantité équivalente à 90 kilogrammes d'azote par hectare. Les rendements ont dépassé ceux qu'a rapportés M. Boussingault. La moyenne de la deuxième et de la troisième année se trouve comprise entre 14 et 15 000 kilogrammes. Pour donner plus de force à ma démonstration, je la réduirai volontairement à 10 522 kilogrammes, et j'admettrai que la totalité de l'engrais a été absorbée par les deux dernières récoltes. Dans 10 522 kilogrammes de luzerne (qui équivalent à 12 000 kilogrammes de luzerne séchée au soleil), l'analyse accuse 387 kilogrammes d'azote, desquels il convient de déduire 45 kilogrammes provenant de l'engrais, ce qui réduit l'excédant à 342 kilogrammes. Si cette quantité d'azote a été absorbée à l'état d'acide nitrique, on doit retrouver évidemment dans les cendres de la récolte une quantité de bases suffisantes pour le neutraliser, l'acide nitrique n'ayant pu être absorbé en nature. Or l'analyse ne confirme pas cette prévision. 343 kilogrammes d'azote correspondent à 1322 kilogrammes d'acide nitrique, lesquels exigent 832 kilogrammes de bases pour être saturés. Or, la totalité des éléments minéraux de la récolte, déduction faite de l'acide carbonique, s'élève à 973 kilogrammes dans lesquels les bases disponibles figurent pour 504 kilogrammes; d'où il résulte que la récolte, malgré la réduction que nous lui avons fait subir, contient encore 135 kilogrammes d'azote qui n'ont pu pénétrer dans la plante à l'état de nitrates. Voici au surplus les éléments de cette discussion.

MINÉRAUX DANS 10 522 KILOGR. DE LUZERNE DESSÉCHÉE A 120 DEGRÉS.

		Bases saturées par les acides minéraux de la cendre.	Bases disponibles
	k		
Acide phosphorique.	77,88	»	»
— sulfurique....	44,60	»	»
— carbonique....	255,49	»	»
Chlore.....	39,86	»	»
		k.	k.
Potasse.....	329,19	77,66	251,53
Soude.....	36,41	34,80	1,61
Chaux.....	263,17	46,07	217,10
Magnésie.....	56,71	22,30	34,41
Oxyde de fer.....	6,70	180,83	504,65
Silice soluble.....	10,32		
Sable.....	7,98		

D'autres faits empruntés à la grande culture viennent à l'appui de cette déduction, qu'ils complètent et fortifient. Je vous ai dit, en commençant l'étude de l'assimilation de l'azote, que ce corps pouvait être absorbé par les végétaux sous trois formes principales : à l'état de nitrate, à l'état d'ammoniaque et à l'état d'azote gazeux. Eh bien ! instituons trois cultures, une de froment, une de pois, la troisième de trèfle, soumises toutes trois à deux modes de fumure différents : d'une part, fumure complète, comprenant les minéraux et un composé azoté; de l'autre, fumure simplement minérale. Sur le froment, l'effet de ces deux fumures est très-différent; celui de la fumure simplement minérale est presque nul; et l'addition d'une matière azotée imprime, au contraire, à cette culture un degré de prospérité remarquable. Il est évident que le froment a besoin de trouver dans le sol de l'ammoniaque ou du nitre. Mais à l'inverse de ce qui arrive dans ce cas, l'addition de ces substances à la fumure minérale n'exerce aucune influence appréciable ni sur la récolte des pois, ni sur celle du trèfle; l'effet est même décidément nuisible.

Or, si les nitrates et les sels ammoniacaux que l'on ajoute à la terre nuisent plus qu'ils ne servent aux pois et au trèfle, peut-on, sans nier l'évidence, soutenir que ces plantes n'absorbent l'azote que sous ces deux formes? Et si, d'un côté, le froment, sur le rendement duquel les engrais azotés exercent une si grande influence, ne produit presque rien avec une fumure simplement minérale, il est prouvé par cela même que la terre n'est pas le siége d'une formation sensible de nitrate, puisque, s'il en était ainsi, cette formation, en ajoutant à l'engrais ce qui lui manque, réaliserait la plus haute

d'azote, résument ainsi les conclusions de leur mémoire principal, publié dans les *Transactions philosophiques* (2e partie, 1861), sous ce titre : *On the sources of the nitrogen of vegetation*, page 530 :

« Les engrais ne rendent pas compte de la quantité d'azote que les » plantes contiennent, surtout les légumineuses..... Dans nos expé- » riences, les légumineuses n'ont jamais atteint leur développement » normal..... Nos expériences n'étant pas favorables à l'assimilation de » l'azote de l'air, il est à désirer que l'on recherche plus complète- » ment qu'on ne l'a fait encore toutes les sources où les végétaux » peuvent en puiser, car s'il est établi qu'ils ne sont pas aptes à opé- » rer l'assimilation de l'azote libre, il faut convenir que nous *igno-* » *rons à quelles sources et à quelles actions il faut attribuer une* » *grande partie de celui qu'ils contiennent.* »

Ces messieurs admettent donc, comme conclusion finale, l'existence d'une source d'azote qui nous échappe, bien qu'elle soit accessible aux végétaux et mise journellement à contribution par eux.

(1) Voici d'abord les éléments d'où M. Boussingault a déduit la composition de la luzerne :

	Azote pour cent.
Une luzerne fanée à Bechelbronn.....	1,7
Une jeune luzerne en fleur qui a donné à M. Payen.	3,1
Une luzerne fanée en 1841.....	2,25
Moyenne.....	2,35

Plus loin il ajoute : J'ai pris la composition du fumier d'écurie à 0,0051 d'azote, tandis que la composition moyenne qui se déduit de ses analyses est 0,0041; cette surélévation a pour effet de porter à 224 kilogr. l'azote de la fumure, alors qu'en réalité il n'était que de 182 kilogr. — Comparez la composition du fumier admise par l'auteur dans le tableau n° 4 des assolements, p. 189, et celle attribuée au fumier de la luzerne, p. 192, t. II, de son *Économie rurale*.

Digitized by Google

condition de fertilité. Les tableaux suivants, où je mets en regard les résultats obtenus à la ferme de Rothampsted, par MM. Lawes et Gilbert, et ceux que me donne depuis quatre ans le champ d'expériences de Vincennes, seront pour vous la manifestation de ce que j'ai cherché à vous démontrer, et, sous une forme irrécusable, le dernier argument de cette longue discussion.

CHAMP D'EXPÉRIENCES DE VINCENNES.

		Rendement à l'hectare. FROMENT.		*Récoltes séchées au soleil.* POIS.	
Année.		Engrais complet.	Engrais minéral.	Engrais complet.	Engrais minéral.
1861.	Paille.	4250k.	3120k.	5380k.	5340k.
	Grain.	2400	2130	1470	1770
		6640	5250	6850	7110
1862.	Paille.	3930	3230	3930	3680
	Grain.	1900	1520	1690	2010
		5830	4750	5620	5690
1863.	Paille.	6941	3003	2180	2660
	Grain.	3750	1287	700	810
		10694	4290	2880	3470
1864.	Paille.	4500	2300	3000	3200
	Grain.	1890	1060	1290	1530
		6390	3360	4290	4730

FERME DE ROTHAMPSTED.

		FROMENT.				FÉVEROLLES.	
Année.		Engrais complet.	Engrais minéral.	Année.		Engrais complet.	Engrais minéral.
1852.	Paille.	4239k.	2187k.	1847.	Paille.	2019k.	2179k.
	Grain.	1812	1169		Grain.	1627	1887
		6051	3356			3646	4066
1853.	Paille.	4156	2268	1848.	Paille.	1429	1704
	Grain.	1516	666		Grain.	1670	2036
		5672	2934			3099	3740
1854.	Paille.	6172	2793				
	Grain.	3278	1720				
		9450	4513				
1855.	Paille.	4487	2012			TRÈFLE.	
	Grain.	2348	1279				
		6835	3291	1849		9550k.	9625k.
1856.	Paille.	4982	2299				
	Grain.	2544	1342				
		7516	3641	1850.		2406	2352
1857.	Paille.	4210	1864				
	Grain.	3161	1623				
		7371	3487	1851.		3611	5372

Que pourrait-on ajouter à ces chiffres si éloquents ? Si les matières azotées réputées les plus efficaces, si les nitrates et les sels ammoniacaux sont pour certaines plantes sans effet ou même décidément nuisibles, n'est-il pas évident qu'on ne peut attribuer l'azote de ces plantes à ces composés, quels que puissent être d'ailleurs leur origine et leur mode de formation ? Le froment qui alterne avec une légumineuse produit autant que le froment qui alterne avec une jachère ; le froment qui succède au trèfle rend plus que le froment qui a précédé le trèfle. Que peut-on opposer à l'unanimité de ces témoignages ? Reconnaissons donc la justesse, la vérité de la proposition par laquelle nous avons commencé cette étude. Oui, l'azote est assimilable sous des formes multiples : la forme que le froment préfère ne convient ni au trèfle ni aux pois ; ce que le froment demande au sol à l'état de nitre et des sels ammoniacaux, les légumineuses le prennent dans l'air à l'état d'azote gazeux. Oui, la faculté d'assimiler l'azote de l'air, plus particulière à certaines espèces végétales, est une loi d'ordre supérieur ; elle a pour fonction de compenser la perte incessante d'azote que la respiration animale fait subir au capital disponible de matières azotées ; elle rétablit l'équilibre troublé par la perte de même nature que la décomposition spontanée des matières organiques fait naître ; elle est le pivot sur lequel roulent toutes les combinaisons d'assolement, en ce sens que certaines plantes ramènent aux engrais l'azote qne d'autres leur ont pris. Supprimez cette faculté, il n'est plus possible de comprendre le travail de la végétation, les ténèbres succèdent à la lumière, de florissantes qu'elles étaient nos cultures deviennent précaires ; atteinte dans l'une de ses conditions les plus essentielles, la vie s'épuise dans une lente et douloureuse agonie.

Pour échapper à l'irrésistible évidence de ce long enchaînement de preuves, on a essayé de ce que les géomètres appellent une réfutation par l'absurde. L'azote, a-t-on dit, ne possède que des affinités très-faibles ; il n'entre en combinaison avec d'autres corps qu'à grand'peine et sous l'empire de conditions tout exceptionnelles, et l'on a invoqué cette sorte d'inertie pour réfuter *a priori* et sans examen les résultats qui lui sont contraires. Mais s'il est vrai que l'azote, dans l'état où l'air le contient, ne possède que de faibles affinités, il est non moins incontestable que l'azote forme, avec une facilité remarquable, les composés les plus stables que la chimie connaisse, si on le met en rapport avec des corps à l'état naissant, c'est-à-dire au moment où ils sortent d'une combinaison antérieure. En contact avec l'hydrogène à l'état naissant, l'azote donne lieu à une formation d'ammoniaque ; si l'on substitue à l'hydrogène de l'oxygène également à l'état naissant, il se forme de l'acide nitrique ; si c'est le carbone qui entre en jeu dans les mêmes conditions, il fera naître du cyanogène. Or, je vous l'ai déjà dit plusieurs fois et j'aurai bientôt l'occasion d'y revenir, pendant la respiration végétale chaque feuille devient le foyer d'une émission presque incessante d'oxygène et de carbone à l'état naissant. Alors pourquoi l'azote que la séve fait affluer vers les feuilles et celui que ces organes peuvent puiser dans l'air ne se combineraient-ils pas avec l'oxygène et le carbone qui y naissent ? Cette supposition est d'autant plus légitime que, si l'on recueille l'oxygène que les feuilles exhalent et qu'on le mêle à l'azote de l'air, il suffit de faire passer ce mélange dans une dissolution de potasse caustique pour que la combinaison ait lieu et que l'azote se change en acide azotique.

Et d'ailleurs, qui ne voit l'inconséquence d'un système qui d'un côté attribue à l'azote de l'air la faculté d'entrer en combinaison dans le sol pour former des nitrates avec lesquels on essaye d'expliquer les excédants des cultures, et qui refuse à ce même azote la possibilité de se combiner au sein même des feuilles où il se trouve dans des conditions incomparablement plus favorables au jeu de ses affinités ?

A côté du fait incontestable de l'assimilation directe de l'azote à l'état de gaz, la science nous offre donc, sans sortir des lois les mieux établies de l'affinité, les moyens de comprendre et d'expliquer cette assimilation. L'argument tiré de l'inertie de l'azote se trouve par là réfuté comme tous les autres.

Maintenant que la vérité s'est faite à vos yeux, que nous avons débarrassé le chemin des ronces dont il était

Digitized by Google

encombré, que l'esprit ne peut plus conserver aucun doute sur la certitude de l'assimilation, par les plantes, de l'azote élémentaire de l'air, permettez-moi d'appeler, en terminant, votre attention sur le tableau suivant, où j'ai réuni par le calcul les renseignements qui permettent de se faire une idée de l'importance de cette assimilation et du rôle qu'elle remplit dans l'économie de la nature :

ASSIMILATION DE L'AZOTE PAR LA VÉGÉTATION A LA SURFACE DE L'EMPIRE FRANÇAIS PENDANT LE COURS D'UNE ANNÉE DE 365 JOURS.

Nature des cultures.	Surfaces cultivées. hectares.	Azote tiré de l'air. tonnes.
Cultures et prés.....	30 659 259	1 530 000
Forêts et vignes.....	9 776 334	350 000
Oliviers, amandiers, mûriers.	109 261	
Châtaigneraies.....	559 029	
Total de l'azote tiré de l'air...		1 880 000

Dans la prochaine séance nous traiterons de l'assimilation des vapeurs ammoniacales et des diverses matières azotées que l'on peut ajouter au sol.

H. JOULIE, pharmacien en chef de l'hôpital Saint-Antoine.

CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS.

CHIMIE AGRICOLE (1).

COURS DE M. BOUSSINGAULT
(de l'Institut).

Respiration des feuilles.

Il ne suffit pas qu'une feuille soit exposée à la lumière solaire, dans un milieu contenant de l'acide carbonique et de l'air, pour qu'elle décompose cet acide et s'assimile le carbone, il faut encore que la feuille possède son eau de constitution. Cette eau de constitution se trouve répandue dans le parenchyme, et sa quantité est quelquefois considérable; dans certaines feuilles on en trouve jusqu'à 80 pour 100. Des expériences très-curieuses ont démontré la nécessité de la présence de cette eau : on a pris des feuilles de laurier ayant même surface et même poids, chacune pesait 85 centigrammes, puis on les a exposées au soleil pendant sept heures dans un mélange d'air et d'acide carbonique. Voici les résultats qu'on a obtenus.

	Eau restée dans la feuille.	Acide carbon. décomposé.
	gr.	cc.
Feuilles non desséchées.....	0,60	16
Dessiccation commencée.....	0,36	11
Dessiccation plus avancée.....	0,29	3
Dessiccation absolue.....	0,00	0

On voit par ce tableau que la dessiccation augmentant, la quantité d'acide carbonique décomposé diminue, et que la dessiccation étant complète, l'action sur l'acide est nulle. Il faut remarquer qu'il ne suffit pas d'humecter une feuille desséchée pour lui rendre sa propriété d'agir sur l'acide carbonique. Ainsi on a pris des feuilles que l'on a placées sous une cloche renfermant une atmosphère complétement sèche. Pour obtenir ce résultat, il y avait sous la cloche de la chaux vive qui absorbait toute l'humidité de l'air, celui-ci à son tour s'emparait de l'eau de la feuille qui devenait aussi cassante que du verre. Si l'on humecte une feuille ainsi desséchée, on constate qu'elle a perdu son action sur l'acide carbonique. L'eau de constitution n'agit pas seulement pour donner une certaine souplesse à la feuille, mais, pour son propre compte, en intervenant dans les phénomènes chimiques. Tous les phénomènes physiologiques de la vie végétale et de la vie animale se passent dans un milieu liquide, et l'eau y est toujours en grande proportion.

Les expériences précédentes portent à croire que la feuille décompose l'acide carbonique pour s'assimiler le carbone et exhaler tout l'oxygène. Cette manière de considérer le phénomène n'est pas exacte. L'acide carbonique, comme on le sait, est composé de 75 parties pondérables de charbon et de 200 parties d'oxygène. En faisant brûler du charbon dans un volume connu d'oxygène, 1 litre par exemple, on obtient, après la combustion, 1 litre de gaz acide carbonique. Ce résultat est important, car si des feuilles vivent dans de l'acide carbonique, on remarque que 30 centimètres cubes d'acide carbonique ayant disparu, il s'est aussi produit 30 centimètres cubes d'oxygène qui paraissent provenir de l'acide carbonique. Il est peu probable que le phénomène soit aussi simple, car on conçoit difficilement que les feuilles aient une aussi grande affinité pour le charbon. D'ailleurs il y a à ce sujet une objection considérable : une feuille placée au soleil dans de l'oxyde de carbone ne décompose pas ce gaz. On a exposé des feuilles au soleil pendant cinq heures dans un mélange d'oxyde de carbone et d'hydrogène.

	Oxyde de carbone.	Oxygène.	Hydrogène.
	cc.	cc.	cc.
Avant l'exposition..	31	0	52
Après l'exposition.....	31	0	52

On voit que la feuille n'a pas décomposé l'oxyde de carbone, on peut donc douter de cette affinité de la feuille pour le charbon. On sait que l'oxyde de carbone n'est que du carbone demi-brûlé, puisqu'il est encore combustible; l'acide carbonique, au contraire, est du carbone complétement brûlé.

Cherchons à interpréter cette décomposition de l'acide carbonique et cette production d'oxygène. L'équivalent d'acide carbonique décomposé en totalité donne en poids : Charbon 75, et oxygène 200; 1 équivalent d'eau HO, donne : hydrogène 12,5, et oxygène 100. Si l'on admet la décomposition simultanée de l'eau et de l'acide carbonique, en supposant que cet acide ait été transformé en oxyde de carbone, il y a eu 100 parties d'oxygène mises en liberté; d'un autre côté, la décomposition de l'eau a rendu libres 100 autres parties d'oxygène. Il reste donc dans la plante de l'oxyde de carbone CO, qui en se combinant avec l'hydrogène H de l'eau, donne un nouveau composé CHO, formule brute du glucose. Ce dernier corps ayant pour formule réelle $C^{12}H^{12}O^{12}$. Il suffit que le glucose perde 1 équivalent d'eau pour obtenir le sucre de canne $C^{12}H^{11}O^{11}$, et qu'il perde 2 équivalents d'eau pour avoir l'amidon et la cellulose, dont la formule commune est $C^{12}H^{10}O^{10}$.

Cette théorie explique non-seulement le développement du végétal, mais encore la formation et la présence de tous ces corps si identiques ou si analogues dans lesquels l'oxygène et l'hydrogène se montrent combinés dans la proportion qui forme l'eau. C'est là une idée neuve et par conséquent acceptée difficilement. On donne comme objection à cette théorie que, dans les plantes, la matière sucrée se trouve dans la tige et dans la racine, qu'en outre, pendant la germination, il y en a dans la graine. Quant à cette dernière objection, elle a peu de valeur; au moment où la graine se développe, la pré-

(1) Voy. les numéros 1 et 2.

Digitized by Google

sence du sucre est due à la transformation de l'amidon en glucose, en sucre et en cellulose. Ce n'est donc pas une importation; l'embryon mange du sucre, c'est un consommateur. L'autre objection n'est pas plus sérieuse : la feuille fait du sucre, et ce produit est emmaganisé dans la tige et dans la racine. La betterave, qui s'est enrichie de sucre jusqu'à la floraison, n'en contient plus lorsque la graine est arrivée à maturité; il en est de même pour la canne à sucre.

Lorsque la plante est privée de tige et de racine charnues, le sucre s'accumule dans les feuilles qui prennent alors une extension considérable. L'exemple le plus frappant que je puisse présenter est l'*agave américain*, le maguey, la *vigne* des Mexicains, dont la culture s'étendait, du temps de Montézuma, aussi loin que la langue aztèque. Les feuilles de l'agave partent toutes du collet de la racine; elles atteignent jusqu'à 2 mètres de longueur, 20 centimètres de largeur et jusqu'à un décimètre d'épaisseur au point d'attache. Pendant quinze à vingt ans, ces feuilles élaborent et accumulent du glucose, jusqu'au moment où la hampe, qui doit porter les fleurs et les fruits, commence à se développer. Alors les feuilles qui étaient restées pendant des années penchées vers la terre, se redressent en se rapprochant du bourgeon comme pour le couvrir, le protéger. Il y a là un mouvement graduel très-apparent qui semble obéir à une volonté. Le bourgeon forme une hampe de 5 à 6 mètres, et la rapidité avec laquelle il s'accroît est si grande, qu'on peut, avec une lunette, voir et mesurer cet accroissement qui est de deux ou 3 millimètres par minute. Aussitôt que le travail de la reproduction de la graine s'accomplit, l'Indien coupe le bourgeon et fait une cavité à la partie supérieure du tronc. C'est dans cette excavation, qui peut avoir 2 à 3 décimètres cubes de capacité, que le sucre se réunit; on la vide deux ou trois fois toutes les vingt-quatre heures. On se procure par ce moyen une ample récolte de séve sucrée, avec laquelle, par la fermentation, l'Indien prépare le *pulque*, sa boisson enivrante de prédilection, qui a toutefois l'inconvénient de répandre une odeur de viande faisandée très-prononcée. Un plant d'agave, dans les environs de Chulola, émet en quatre ou cinq mois près de 1 mètre cube de liquide sucré, après quoi il meurt épuisé, comme il serait mort épuisé si l'on eût laissé la hampe se développer et porter des fleurs et des fruits. Un agave rend en quatre mois environ 100 kilogrammes de glucose que ses feuilles avaient préparés et conservés pendant des années. C'est un produit dix fois supérieur à celui de la vigne en Europe. Aussi une plantation de l'agave, quand elle a lieu à proximité d'une grande ville, assurant un débouché au pulque, est considérée au mexique comme une des cultures les plus lucratives.

L'origine de cette quantité considérable de glucose n'est pas douteuse, il provient de l'acide carbonique de l'air et de l'eau décomposé par les feuilles.

On a pensé que le charbon de la plante provenait de l'humus qui pénétrait dans le végétal par les racines. C'est une erreur, si l'humus est utile à la plante, c'est en fournissant à l'atmosphère qui l'entoure de l'acide carbonique qui est décomposé par les feuilles. Cherchons à expliquer comment les quelques millièmes d'acide carbonique que renferme l'atmosphère peuvent être la source unique où la plante puise son carbone. Nous remarquerons d'abord que, de tous les gaz de l'atmosphère, l'acide carbonique est le plus soluble, et qu'une feuille, par l'eau qu'elle renferme, peut être considérée comme une lame d'eau. On sait que de l'eau pure, exposée à l'air pendant un temps très-court, se charge rapidement d'acide carbonique, et que cet acide est abandonné par l'air qui passe à la surface de l'eau. On comprend alors comment une feuille peut dissoudre de l'acide carbonique, et, si l'on tient compte de la surface considérable que présentent les feuilles, on comprend aussi que la faible quantité d'acide carbonique répandue dans l'atmosphère suffise pour que la plante absorbe tout le carbone nécessaire à son développement.

Sur un hectare de culture, on trouve que la réunion des feuilles donne en surface :

Pour les bananes.....	141 000	mètres carrés.
— pommes de terre.....	20 000	—
— tabac.....	111 000	—

Dans la culture du tabac, les feuilles fonctionnent pendant quatre-vingt-dix jours seulement, et la quantité de carbone puisée par un hectare est de 4500 kilogrammes. Il faut remarquer aussi que l'atmosphère est toujours en mouvement, et qu'une feuille peut en France décomposer de l'acide carbonique formé à l'équateur.

Enfin une expérience que j'ai faite montre que les feuilles absorbent une petite quantité d'acide carbonique avec une avidité extraordinaire. J'ai placé dans un ballon des feuilles de vigne vivant sur leur tige; au moyen d'un aspirateur, je faisais un appel d'air qui traversait le ballon, léchait la surface des feuilles et passait ensuite dans un appareil qui permettait de doser l'acide carbonique. On pouvait, au moyen d'un robinet, régler la quantité d'air qui entrait dans le ballon. L'air qui avait passé sur les feuilles ne contenait plus d'acide carbonique. Une autre expérience ayant été faite la nuit, on trouva que la quantité d'acide carbonique était plus grande que celle qui existe normalement dans l'atmosphère. Ces expériences établissent d'une manière très-nette que les feuilles prennent dans l'atmosphère tout le carbone utile à la plante.

Assimilation de l'azote. — Absorption de l'eau par les plantes.

On trouve encore dans les plantes un quatrième élément : l'azote. Ce corps est-il fourni par l'atmosphère ou provient-il du sol dans lequel se développe le végétal? La solution de cette question va jeter une vive lumière sur la théorie de la fertilité du sol. La méthode générale consiste à comparer la composition des semences à la composition des récoltes obtenues aux dépens seuls de l'eau et de l'air. La plante se développait dans un sol préalablement calciné pour détruire jusqu'aux moindres traces de matière organique. On arrosait la graine avec de l'eau distillée. On constatait ensuite par l'analyse que le végétal avait acquis du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'azote pendant le cours de son développement, ainsi que l'indique l'expérience suivante :

Végétation à l'air libre, avec le concours de l'atmosphère et de l'eau, pendant vingt-sept jours.

			Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.	Azote.
	gr.		gr.	gr.	gr.	gr.
Pois.....	0,214	contenant	0,103	0,014	0,088	0,010
Récolte.....	0,888		0,475	0,057	0,336	0.020
Différence..	0,674		0,372	0,043	0,248	0,010

Donc, dans un sol absolument privé d'engrais, d'origine organique, les pois ont acquis 10 milligrammes d'azote. Ces quelques milligrammes proviennent-ils de

Digitized by Google

l'azote de l'air (on sait que l'air est composé de 79 d'azote et de 21 d'oxygène), ou bien proviennent-ils de l'azote combiné sous forme d'ammoniaque, d'acide azotique et d'acide azoteux, corps qui se trouvent dans l'atmosphère en si petite proportion que l'analyse est souvent impuissante à en accuser la présence?

L'azote est en si grande proportion dans l'air et la quantité assimilée est si petite, que tout d'abord on est peu porté à croire que ce soit une source d'azote pour la plante. On conçoit mieux, au contraire, l'exiguïté de la dose d'azote assimilée dans l'hypothèse de l'intervention des vapeurs ammoniacales. Pour résoudre la question, j'ai fait développer une plante dans un volume d'air limité, en ayant soin de lui fournir de l'acide carbonique. On a mis dans un ballon cent litres d'air et un sol artificiel composé de pierre ponce concassée, débarrassée des poussières, lavée, chauffée au rouge et refroidie. On humectait cette terre avec de l'eau exempte d'ammoniaque; on semait la graine; on fermait le ballon, et lorsque la germination était suffisamment avancée, on chargeait l'atmosphère confinée d'acide carbonique. Et pour cela on substituait au bouchon du ballon rempli d'air un autre ballon ayant une capacité de 10 litres environ et rempli d'acide carbonique pur, qui s'écoulait dans l'air confiné et servait à la nutrition de la plante. On pouvait fournir une quantité considérable d'acide carbonique à la plante en chargeant le ballon plusieurs fois. On suppose que, dans les 100 litres d'air, il n'y avait pas d'azote combiné, puisque sur une masse considérable l'analyse n'en accuse pas la présence. Il n'y avait donc que de l'azote gazeux. La plante s'est développée, et voici les résultats :

	Poids total.	Azote.
Haricots	0,748	0,0340
Récolte	1,424	0,0341
Différence	0,636	0,0001

Cette expérience et un grand nombre d'autres me portent à croire que l'azote gazeux de l'air n'est pas assimilé pendant la végétation. Mais alors l'azote provient-il du sol de même que les matières minérales qui se trouvent dans les plantes? On a fait végéter des graines d'*helianthus* (Grand soleil) à l'air libre, les unes placées dans un sol ne contenant pas de principes azotés, du sable calciné par exemple; les autres, dans un sol formé de cendres d'*helianthus*, de phosphate de chaux basique et de nitrate de potasse. Voici les résultats obtenus : dans le premier cas, les graines pesaient 0gr,107; la récolte a été de 0gr,50, dont 0gr,003 d'azote; dans le second cas, les graines pesaient aussi 0gr,107; la récolte a été de 21gr,22, dont 0gr,07 d'azote. L'aspect physique des plantes était remarquable; l'absence de produits azotés dans le sol donne naissance à une plante excessivement réduite dans ses dimensions, parfaitement organisée, et que j'ai désignée par le nom de *plante limite*, parce qu'elle représente le végétal constitué avec le moins de matière possible. On retrouve dans cette plante à peu près tout l'azote de la graine, et quoique chétive elle fleurit et porte un fruit. Les plantes développées dans le sol contenant des principes azotés étaient quatre fois plus fortes que les autres et d'une vigueur remarquable. Le sol doit donc contenir de l'azote assimilable. On a analysé les terres de toutes les parties du monde, et l'on a trouvé qu'elles contenaient des principes azotés.

Principes fertilisants dans 1 kilogramme de terre végétale séchée à l'air.

	Azote de l'humus.	Sels ammoniacaux.	Nitrates.	Acide phosphorique.
	gr.	gr.	gr.	gr.
Bas-Rhin	2,59	0,02	0,18	1,00
Normandie	5,13	0,06	0,05	1,00
Brésil	6,85	0,52	0,00	0,45

L'humus est le résidu de la putréfaction végétale et animale; c'est un corps noir, pulvérulent lorsqu'il est sec, mou et gras lorsqu'il est humide. Il contient d'autant plus d'azote que la matière animale y est en plus grande proportion. L'humus agit avec lenteur sur la plante; l'azote qu'il dégage en se décomposant donne naissance à des nitrates absorbés par la plante.

D'après le tableau précédent, on pourrait s'étonner des faibles quantités de principes fertilisants contenus dans le sol. Mais il faut remarquer que ces quantités sont le résultat de l'analyse de 1 kilogramme de terre, et qu'il n'y a pas de profession où l'ouvrier agisse sur une plus grande quantité de matière. Si nous supposons que la terre, dont la densité est 12 ou 15, soit labourée à 33 centimètres de profondeur, 1 hectare nous donnera en poids une masse de 5 millions de kilogrammes, et nous trouvons que 1 hectare renferme :

Total de l'azote de l'humus	12 950	kilogrammes.
Sels ammoniacaux	100	—
Nitrates	900	—
Acide phosphorique	15 600	—

En résumé, nous pouvons dire que les plantes ont besoin, pour se développer complétement, du concours de l'air, de l'eau et de la terre végétale.

Le phénomène physique de la végétation des plantes doit aussi attirer notre attention. Lorsqu'une graine a été déposée dans un sol convenable à son développement, on remarque que dès leur première apparition les racines se dirigent vers l'intérieur de la terre, et que la tige prend une direction opposée; elle croît verticalement. On remarque aussi que les jeunes branches latérales dans les arbustes forment avec la tige un angle variable, elles tendent d'abord à s'élever, puis ensuite elles fléchissent vers le sol. L'effet seul de la pesanteur est la cause de ce phénomène. On sait qu'une impulsion donnée à un corps peut, lorsque la force est assez grande, soustraire ce corps à l'action de la pesanteur. Il est évident que celle-ci agit toujours, mais elle est inférieure à celle que l'on donne au corps. Le boulet lancé par un canon, la pierre retenue par la fronde en sont des exemples. Le problème revenait donc à faire germer une graine soustraite à l'action de la pesanteur. Un habile observateur, Knight, disposa une roue de bois de telle façon qu'il pouvait la faire mouvoir avec des vitesses variables, dans des plans plus ou moins inclinés. Cette roue, qui faisait cent cinquante tours par minute, était mise en mouvement par un cours d'eau et pouvait exécuter des révolutions dans un plan vertical ou dans un plan horizontal. Des fèves furent fixées sur la circonférence de la roue; on avait eu soin de les placer dans un milieu indispensable à leur germination et à leur croissance. On donnait à la roue une vitesse suffisante, il était facile de rendre la force centrifuge supérieure à la force de la gravitation. On voyait alors la totalité des racines tourner leurs radicelles hors de la circonférence; les tiges prenaient une direction entièrement opposée, après quelques jours leurs sommets

Digitized by Google

atteignaient le centre de la roue. Lorsque la vitesse de la roue était ralentie et ne faisait plus que diminuer la force d'attraction, sans la faire disparaître entièrement, la plante se dirigeait suivant une résultante comprise dans un plan qui formait un angle avec la circonférence de la roue.

Quand une plante se développe, il faut que le sol dans lequel elle se trouve contienne une certaine quantité d'eau. On s'est demandé comment cette eau absorbée par les racines pouvait arriver jusqu'aux feuilles. On a voulu d'abord expliquer ce phénomène par la capillarité et l'endosmose. C'est par le phénomène de la capillarité qu'une baguette de verre trempée dans l'eau et retirée ensuite conserve, à son extrémité, une goutte liquide qui s'allonge en larme et reste suspendue; c'est encore par la même cause qu'un liquide qui mouille le verre s'élève dans un tube d'un très-petit diamètre. Ces expériences ont été faites avec soin et ont donné les résultats suivants :

Ascension de l'eau dans des tubes capillaires (température à 10 degrés).

Diamètre intérieur. millim.	Hauteur de l'eau. mèt.
1	0,03
1/10	0,30
1/100	3,00

Une expérience de cette nature pouvait faire supposer que la capillarité seule était suffisante pour conduire l'eau dans les parties élevées d'un arbre. Mais la capillarité est une force physique, et comme force elle a une limite. Par conséquent l'eau s'arrêtera à une certaine hauteur.

On a voulu compléter l'action des phénomènes de capillarité en leur associant les phénomènes d'endosmose. Une expérience très-simple peut donner une idée de l'endosmose. Si une petite vessie dont la paroi est une membrane, soit animale, soit végétale, est plongée dans l'eau pure et contient elle-même un liquide plus dense, comme de l'eau sucrée ou gommée, les deux liquides tendront à se mettre en équilibre de densité, et il s'établira à travers les parois un double courant, l'un de dehors en dedans, de l'eau pure vers l'eau sucrée, l'autre de dedans en dehors, de l'eau sucrée vers l'eau pure. Les deux liquides ne filtrent pas à travers la membrane avec la même facilité, avec la même rapidité; le moins dense passe plus vite que l'autre. La masse d'eau intérieure gagne ainsi plus qu'elle ne perd, tandis que l'extérieure perd plus qu'elle ne gagne : d'où doivent résulter une différence de niveau entre les deux et l'ascension du liquide contenu dans la vessie. Mais l'endosmose ne suffit pas non plus pour expliquer l'ascension continuelle de l'eau dans la plante. On prévoit qu'il doit arriver un moment où elle a produit tout son effet, et alors il devrait s'établir une sorte d'équilibre et de stase dans toutes les parties du végétal.

Hales a pensé que l'ascension des liquides dans la plante était due à la transpiration des feuilles, qui deviennent le siége d'une évaporation considérable par leur surface criblée de pores. Tout ce qui s'évapore par les feuilles, tout ce qui est employé à former et à nourrir les parties nouvelles, est autant de pris sur la masse du liquide de la tige, il en résulte vers la surface et l'origine de chaque rameau un épaississement qui redouble l'activité de l'endosmose; des vides se forment et sont aussitôt comblés, et il y a ainsi de proche en proche un flux ascensionnel.

Il est facile de montrer par des expériences combien est grande la quantité d'eau absorbée par les plantes. Un hélianthus de 4 mètres carrés de surface fut placé dans un vase imperméable, on eut soin de l'arroser et de le placer à l'air. Voici les quantités d'eau sorties par les feuilles :

En douze heures (jour), beau temps.....	612 grammes.
— (nuit), air agité.....	92
— (nuit), rosée abondante...	0

Des choux dont les feuilles présentaient une surface de 2 mètres carrés ont donné en 12 heures 580 grammes d'eau. Cette quantité de liquide évaporée par les feuilles doit entrer par les racines et la surface de ces dernières doit être considérable. On a mis des fibriles de racines d'un hélianthus les unes à la suite des autres, et l'on a trouvé une longueur de 470 mètres, présentant une surface de 1 mètre carré 7 décimètres. Les racines d'un chou donnaient une longueur de 153 mètres, et une surface de 1 mètre carré 8 décimètres. Si les feuilles sont la cause de l'ascension des liquides, une plante sans feuilles ne doit avoir qu'une action très-faible sur l'humidité de la terre. On a pris une branche de poirier avec des feuilles, elle a absorbé en douze heures de 500 à 800 grammes d'eau; une branche semblable et privée de feuilles n'en a absorbé que de 25 à 30 grammes : il faut pour la végétation d'une plante que la terre soit humide. En effet, dans un hectare de terre arable, l'analyse a donné pour une profondeur de 33 centimètres : au maximum d'imbibition 2500 mètres cubes d'eau, et au minimum 500 mètres cubes.

La transpiration des feuilles est la cause de l'ascension des liquides dans les végétaux. Mais avant que les feuilles se développent et puissent exercer, par l'action évaporante de leur surface, ce puissant appel des liquides, l'endosmose doit être la force presque exclusivement agissante à cet effet. C'est ainsi qu'on explique l'écoulement aqueux déterminé dans la vigne par la taille, et connu sous le nom de *pleurs de la vigne*. Comme ces pleurs coulent dans un bout de tige dépourvu de toute feuille et même coupé presque au niveau du sol, il est impossible d'attribuer ce phénomène au résultat de l'évaporation. En adaptant un tube à l'extrémité coupée, on voit la séve y monter à une hauteur qu'on peut déterminer, et qui est considérable. L'Anglais Hales a vu la colonne de mercure soulevée jusqu'à 1 mètre, ce qui équivalait à 14 mètres d'eau.

Quant à la quantité d'eau évaporée par les feuilles, on a trouvé pour un hectare de houblon, 20 à 25 mètres cubes d'eau évaporée en douze heures. Ce n'est pas, comme nous l'avons admis jusqu'à présent, de l'eau pure que les végétaux puisent dans le sol, mais de l'eau chargée de certains principes. Ce liquide constitue la séve ascendante. Celle-ci va dans les feuilles, de l'eau s'évapore, des principes nouveaux se forment, et ce liquide descend par la partie la plus voisine du *liber* : c'est la séve descendante.

Parmi les principes élaborés par les feuilles, un des plus curieux est la séve de l'arbre de la vache, *Palo de leche*. Cet arbre est commun dans les Cordilières, où on le rencontre jusqu'à une hauteur de 500 mètres. Le lait végétal du *Palo de leche* possède les mêmes caractères physiques que celui de la vache, avec cette seule différence qu'il est un peu visqueux et que sa saveur est légèrement balsamique. Si on le soumet à l'action d'une douce chaleur, on voit sa surface se couvrir d'une mince pellicule. Si on l'évapore, on obtient un extrait qui ressemble à la frangipane, et si l'action du feu continue,

Digitized by Google

on voit se former des gouttes huileuses qui vont en augmentant à mesure que l'eau diminue. Enfin, dans ce liquide se trouve une substance fibrineuse qui se dessèche, se racornit à mesure que la température augmente, et répand alors l'odeur de la viande qu'on fait frire dans de la graisse. Cette matière fibrineuse présente tous les caractères de la fibrine du sang des animaux. Mise sur un fer chaud, elle se boursoufle, fond, se carbonise en exhalant l'odeur de la viande. Traitée par l'acide nitrique, elle donne du gaz azote; par la distillation elle dégage des vapeurs ammoniacales. La présence de cette matière animalisée dans le lait de l'arbre de la vache explique comment ce lait acquiert en s'altérant l'odeur du vieux fromage. La matière graisseuse peut être considérée comme analogue à la cire des abeilles, et nous avons pu en faire des bougies. Par l'incinération le lait donne des cendres dans lesquelles on trouve du phosphate de chaux, de la chaux, de la magnésie et de la silice. L'analyse donne les proportions suivantes :

Caséum, fibrine	40
Cire	30
Sucre	40
Phosphate, chaux, silice	10
Eau	80
	200

Les habitants de ce pays boivent souvent du lait de l'arbre de la vache, et MM. Boussingault et de Rivero en ont fait usage pendant leur séjour à Maracaye.

Henri Amaury.

BULLETIN DES COURS.

L'ouverture du Cours de *Médecine expérimentale*, de M. Claude Bernard, au Collége de France, qui devait avoir lieu le 5 janvier, est ajournée pour cause d'indisposition.

Conférences scientifiques nouvellement autorisées dans les départements.

AUTHEUIL (Eure).

M. FORTIN. — Anatomie et hygiène.

BRIVES.

M. VERLAC. — Questions de chimie.

CHALON-SUR-SAONE.

M. DUPARAY. — Les avantages de la science.
M. BRION. — Physique terrestre.
M. DE MONTESSUS. — Histoire naturelle de l'homme.
M. DUBOIS. — Physiologie et hygiène.

CHARTRES.

M. SALMON. — Chimie appliquée à l'hygiène.
M. BAROIS. — La chaleur et ses applications.
M. COURTOIS. — Arboriculture forestière.

CHINON.

M. SAINTON. — De la distribution de la chaleur à la surface de la terre.

CLERMONT-FERRAND.

M. AUBERGIER. — Sur les métaux.
M. LECOQ. — Géographie botanique de la France.
M. BOURGET. — 1° La mesure du temps; 2° les machines à vapeur.
M. ALLUARD. — L'atmosphère et les aérostats.

DOUAI.

MM. MANGUIN, docteur en médecine. — Sur l'hygiène. — LAICLE, professeur au lycée : Astronomie populaire. — VASSE : Fabrication du sucre indigène; exposé des principes scientifiques de cette fabrication.

DOUZY (Nièvre).

M. ROUSSEL. — Histoire naturelle.

HONFLEUR.

M. EUDES DESLONCHAMPS, professeur à la Faculté des sciences de Caen : Principaux faits des trois règnes de la nature.

METZ.

MM. FAIVRE : Le ciel; l'ouverture du canal de Suez. — TERQUEM : Géologie et paléontologie. — GOULIER : L'astronomie et la météorologie; de la précision dans les arts. — A. TERQUEM : Production, nature et propogation du son. — SCOUTETTEN : L'eau; l'air. — MULLER : Les aérostats; les applications de l'électricité. — BOUCHOTTE : L'alcool au point de vue industriel. — BAMBERGER : Préceptes généraux de l'hygiène.

ORTHEZ.

M. RIHARE, ingénieur civil : Géologie.

PAU.

M. FROSSART, pasteur à Bagnères-de-Bigorre : Les Pyrénées.

RENNES.

M. ROUAULT, docteur en médecine : Maladies des yeux.

RIOM.

M. LOCOQ, professeur à la Faculté des sciences de Clermont : Géologie appliquée au sol de l'Auvergne.

SAINT-GERMAIN-DU-BOIS (Saône-et-Loire).

M. ONDET : Physique et chimie appliquée.

THUREY (Saône et-Loire).

M. le docteur MATHEY : Hygiène publique et privée.

TULLE.

M. BARTOLOMEY : Questions de physique.

ROUEN.

MM. DUCASTEL : De la chaleur. — RIVIÈRE : Chimie appliquée à la teinture.

AUXERRE.

Janvier, février, mars 1866. — Les lundis : MM. DIONIS : Auxerre au point de vue de l'hygiène. — Paul BERT : Physiologie de l'espèce. — GUINAULT : L'eau, l'air.

VERSAILLES.

Les lundis : MM. BELLA : Agriculture. — LALLEMANT; Sur la physique. — BEZODIS : Astronomie; les nébuleuses. — LEYRITZ : Calculs des probabilités. — RABOT : Les eaux de Versailles au point de vue des besoins de la ville. — ÉMERY, professeur au lycée de Versailles : Migration des plantes. — CAZIN, professeur au lycée de Versailles : Sur l'acoustique, expériences de M. Kœning. — FOUQUÉ : L'Etna.

AMBOISE.

M. DE TARADE : Physiologie comparée.

ALAIS.

MM. FAJOU : — Astronomie. — BARNIER : Géologie et minéralogie.

BOURG.

MM. TIERSOT : De l'hygiène. — WEILL, professeur au lycée : Géométrie. — BRUN, *id.* : Cosmographie. — JOZ, *id.* : Chimie industrielle. — BARLATIER DU MAZ, ingénieur des ponts et chaussées : Mesure des grandeurs les plus usuelles. — JOURDAN, doyen de la faculté des sciences de Lyon : Géologie paléontologique.

LAVAL.

MM. MARGERIE, professeur au lycée : Perspective linéaire. — BLONDEAU, *id.* : La lumière et les matières colorantes.

ORLÉANS.

M. MASURE, professeur au lycée : Physique et chimie.

LE PIN (Seine-et-Marne).

M. DE LA ROY : Culture maraîchère; viticulture; arboriculture.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE — NUMÉRO 7 — 13 JANVIER 1865

SOIRÉES SCIENTIFIQUES DE LA SORBONNE.

CONFÉRENCE DE M. RICHE.

Le rôle de l'eau dans la nature; les eaux de Paris.

Mesdames et messieurs,

Il n'existe pas de substance qui mérite plus que l'eau d'être signalée à votre attention, parce qu'il n'en est aucune dont l'étude offre des particularités plus saillantes, et dont le rôle soit plus considérable dans la science, dans l'industrie et dans la nature. Quelques mots suffiront pour vous peindre l'importance de l'eau sous ce triple de vue.

La découverte de la constitution de l'eau a exercé sur la marche de la chimie une influence aussi salutaire que rapide; et ce corps est un type, un moule dans lequel sont jetées une infinité de substances, en apparence les plus différentes, telles que les acides, les bases, les sels, les alcools, les éthers.

Chacun de vous connaît le nombre et la grandeur des applications industrielles de l'eau, l'étendue et la diversité des services qu'elle rend à l'hygiène et à la médecine, et tout le parti qu'on en tire pour maintenir la salubrité dans nos villes et dans nos habitations.

Enfin, au point de vue du rôle de l'eau dans la nature, je me contenterai de dire que la terre forme l'exception à la surface du globe, car l'eau en recouvre plus des trois quarts; que l'air serait impuissant à entretenir la vie et la fécondité s'il était parfaitement sec; que l'eau représente les quatre cinquièmes du poids du corps humain, et que c'est à elle qu'est dévolue la mission de faire pénétrer dans notre être les principes minéraux et organiques nécessaires à son développement; que ce liquide joue un rôle tout aussi grand dans le corps des animaux; que les plantes se réduisent, par la dessiccation, à un poids extrêmement minime, et que c'est l'eau qui, après avoir puisé dans l'air, dans le sol et dans les engrais les aliments des végétaux, s'infiltre par les racines et fait pénétrer ces matières nutritives jusque dans les cellules les plus profondes, et jusqu'aux cimes les plus élevées.

Ce coup d'œil rapide vous démontre que l'étude complète de l'eau nécessite des développements incompatibles avec la faible durée d'un seul entretien; c'est pourquoi je me propose de n'appeler votre attention, ce soir, que sur quelques-unes des propriétés de cette substance, et comme je choisirai celles qui intéressent d'une façon plus directe l'homme du monde et le philosophe, je me plais à espérer que la grandeur de ces questions, que le charme inhérent à leur nature propre, agiront assez puissamment sur vos esprits pour donner quelque attrait à ma pensée et à ma parole.

L'eau se présente à nous sous les trois états qui caractérisent la matière. Liquide dans les circonstances ordinaires, elle se réduit en vapeur quand on la chauffe, et elle se change en glace quand on la refroidit.

Lorsque l'eau prend l'état solide elle se dilate, elle augmente de volume, et par suite elle devient plus légère, ce dont personne de vous ne peut douter, car la glace flotte à la surface des eaux. Cette dilatation est considérable et le nombre suivant vous en donnera la mesure; si l'on prend 14 litres d'eau et qu'on les refroidisse, on obtient 15 litres de glace. Cette puissante dilatation développe une force tellement grande qu'elle est capable de faire voler en éclats la bombe la plus résistante, et ce fait est à la fois trop singulier et trop remarquable pour que je ne vous le démontre pas par l'expérience.

Voici un tube de fer forgé dont la résistance est énorme, car il supporterait sans se rompre une pression de 40 atmosphères. Nous l'avons rempli d'eau, puis nous l'avons fermé solidement par un bouchon de fer. On le place dans une caisse renfermant un de ces mélanges dont se servent les glaciers pour préparer les sorbets; c'est de la glace et du sel. Le froid produit va congeler l'eau renfermée dans le tube, et au moment où cette solidification aura lieu, vous entendrez un léger bruit, vous verrez une projection de glace qui vous annoncera la rupture du vase, rupture qui a lieu sans danger parce que le fer se fend suivant une seule direction au lieu de se briser en éclats comme la fonte.

Cette dilatation semble de prime abord être une erreur de la nature, car elle ne nous apparaît jamais qu'avec un cortége d'accidents et de dégâts.

Abandonne-t-on pendant les froids une jeune plante dans un jardin; les sucs aqueux qui remplissent ses canaux se gèlent et la dilatation de l'eau les fait éclater.

Digitized by Google

Quand le dégel arrive, les liquides s'extravasent et la plante meurt.

Chacun sait qu'on entoure de paille les conduites d'eau au moment des gelées. Sans cette précaution les tuyaux se brisent, et lorsque le dégel arrive, l'eau s'écoule par les fentes. On ne s'aperçoit du mal qu'à ce moment, mais il s'est produit en réalité lorsque l'eau s'est congelée.

C'est encore cette dilatation qui réduit en miettes certaines sortes de pierres pendant l'hiver, et l'on retrace cette propriété par le nom de pierres *gélives* sous lequel on les connaît.

Ne croyez pas cependant que cette propriété n'ait pas sa raison d'être, rien n'est fait au hasard dans la nature. Supposez, en effet, que la glace soit plus lourde que l'eau ; elle tombera dans le fond des rivières, et comme ce mouvement se continuera tant qu'il restera de l'eau liquide, il est clair que tous les cours d'eau se changeront en blocs de glace depuis leur surface jusqu'à leur lit, et que la mort des habitants de ces eaux en sera la suite fatale, tandis que la glace doit à sa légèreté le double et précieux avantage de laisser passer les rayons du soleil et de préserver le liquide du contact glacé de l'air atmosphérique. Vous conclurez de ces faits que la température des eaux un peu profondes ne s'abaisse pas au point où l'eau se gèle; mais comme aux environs de cette température la vie des végétaux et des animaux serait encore compromise, nous allons voir qu'il est une deuxième propriété de l'eau, grâce à laquelle la température des couches intérieures ne peut pas s'abaisser au-dessous de 4 degrés. Or, comme cette propriété, que les physiciens nomment le *maximum de densité* de l'eau, constitue une véritable dérogation aux lois de la nature, un renversement dans ses habitudes, passez-moi l'expression, je tiens à vous en démontrer l'exactitude.

Voici deux thermomètres. L'un est rempli d'eau ; l'autre contient de l'alcool, et j'aurais pu substituer à ce dernier un liquide à peu près quelconque, il se serait comporté comme lui. Tous deux indiquent la température de 0 degré en ce moment parce qu'ils plongent dans de la glace fondante. Nous les retirons et nous les échauffons dans de l'eau tiède; — suivez des yeux la marche des liquides : — l'eau se resserre, se replie sur elle-même, tandis que l'alcool se gonfle, se dilate, et, je le répète, les autres liquides présenteraient un effet analogue. La contraction de l'eau continue tant qu'elle n'atteint pas 4 degrés, mais à ce point son action se renverse, et voilà ce liquide qui se dilate et qui par conséquent rentre dans la loi commune pour ne plus en dévier si l'on continue à chauffer. Soumettons maintenant les deux tubes au refroidissement : d'abord la marche est la même, les deux colonnes liquides se replient sur elles-mêmes ; mais à 4 degrés l'anomalie reparaît pour l'eau, elle cesse de s'alourdir, de se contracter, et la colonne s'allonge de nouveau. Nous avions donc raison de dire que la nature suspend sa marche pour l'eau, car elle présente à 4 degrés le curieux phénomène d'être plus lourde, d'être plus dense qu'à toute autre température.

L'utilité, la nécessité de ce fait exceptionnel se révèle maintenant à vos esprits. Représentez-vous la surface d'un lac par une soirée fraîche et sereine : la couche superficielle refroidit par le contact de l'atmosphère, acquiert une plus grande densité tant que sa température n'est pas abaissée au-dessous de 4 degrés, et elle tombe dans les couches inférieures pour y être remplacée un peu plus tard par une nappe nouvelle. Mais quand, le froid de la nuit augmentant, la surface descend au-dessous de 4 degrés, elle devient plus légère que les couches sous-jacentes, et elle flotte comme une écume à la surface du lac; de telle sorte que les habitants des eaux peuvent s'y développer à l'aise sans que le froid vienne jamais compromettre leur existence.

A côté de ces propriétés, qui concourent toutes deux au même but, il en est une troisième d'un ordre différent, mais d'une importance tout aussi grande : c'est celle que les physiciens appellent la *capacité pour la chaleur*. Quelques mots vont faire comprendre le sens et la justesse de cette expression : quand on chauffe des poids égaux des divers corps, on est de suite frappé par ce résultat, que leur température s'accroît avec des vitesses très-différentes. Il en résulte évidemment que les corps ont la faculté d'absorber des doses de chaleur très-variables pour s'élever au même degré, et il s'ensuit aussi que ceux qui font de grandes provisions de calorique restituent beaucoup de chaleur quand ils se refroidissent.

Or, l'eau est précisément dans ce dernier cas; sa capacité calorifique est des plus grandes, elle emmagasine des quantités de chaleur presque exceptionnelles, et, grâce à cette propriété, elle est le régulateur, le modérateur des températures à la surface de la terre. En effet, par suite de son extrême abondance sur le globe, elle absorbe pendant l'été la majeure partie des rayons solaires sans s'échauffer d'une manière exagérée, et, pendant l'hiver, elle communique peu à peu cette chaleur aux corps qui l'avoisinent, de sorte qu'il ne se produit pas sur la terre des variations brusques de température qui auraient le plus fatal effet sur notre santé. Cette grande capacité de l'eau pour la chaleur a pour autre effet d'équilibrer la température des régions les plus éloignées du globe, et l'Angleterre et la France lui doivent notamment la douceur relative de leurs climats. Ce point nous intéresse d'une façon trop immédiate pour que je ne vous fasse pas connaître les merveilleux organes dont la nature fait usage pour produire ces grands effets : ce sont les courants de la mer. Christophe Colomb entrevit leur existence et s'en servit pour porter quelque consolation dans l'âme de ses compagnons découragés, mais ce n'est que dans ces années dernières que leur route a été déterminée et que l'on a reconnu qu'elle est aussi régulière que celle des astres dans les cieux; bienfait immense, décou-

Digitized by Google

verte féconde qui a rendu les voyages sur mer plus courts et moins périlleux, et, pour n'en citer qu'un exemple, je dirai que la traversée du Havre à San-Francisco en a été abrégée d'un mois environ.

L'un de ces courants, le plus puissant peut-être, celui qui tout au moins a pour nous le plus d'intérêt, prend sa source dans le golfe du Mexique, ce qui lui a valu le nom de *Golfstrim*, tiré de deux mots anglais qui signifient *courant du golfe*.

Ce golfe est un véritable foyer de chaleur, tant parce qu'il se trouve dans la zone torride, que parce qu'il est encaissé de toutes parts. Il s'en échappe par le détroit de la Floride un flot immense d'une eau tiède dont la profondeur est de mille pieds, la largeur de quatorze lieues, et la vitesse de 8 kilomètres à l'heure. Comme cette masse d'eau est sans cesse remplacée par le même volume d'une eau plus fraîche, venant des profondeurs de l'Océan, et que cet échange ne peut avoir lieu sans qu'une agitation profonde, continue, se déclare dans la mer et dans l'atmosphère, ce courant fait l'office d'un puissant réfrigérant pour ces pays brûlés par le soleil. Vous n'entendrez pas sans intérêt la description poétique qu'en donne le commandant Maury, de la marine des États-Unis, qui a fait une étude approfondie des courants marins.

« Il est un fleuve au sein de l'Océan. Dans les plus grandes sécheresses, jamais il ne tarit; dans les plus grandes crues, jamais il ne déborde. Ses rives et son lit sont des couches d'eau froide entre lesquelles coulent à flots pressés des eaux tièdes et bleues. Nulle part dans le monde il n'existe un courant aussi majestueux. Il est plus rapide que l'Amazone, plus impétueux que le Mississipi, et la masse de ces deux fleuves ne représente pas la millième partie du volume d'eau qu'il déplace. »

Au sortir du golfe, le courant s'élance dans l'Atlantique en conservant intactes pendant plus de mille lieues ses belles eaux bleues dans le lit verdâtre de l'Océan, et le navigateur peut le suivre le thermomètre à la main, car cet instrument plongé tantôt dans le courant, tantôt sur ses rives, indique une différence de 12 à 15 degrés.

Le Golfstrim suit sa marche rapide jusqu'à la hauteur des bancs de Terre-Neuve, mais en ce point il reçoit le choc formidable d'un courant glacé qui descend du pôle, chargé à certaines époques de montagnes de glaces; l'une d'elles fit parcourir au navire du lieutenant de Haven trois cents lieues vers le sud, et d'après son évaluation son poids dépassait 20 billions de tonnes. Les eaux tièdes du Golfstrim fondent ces glaces, et précipitent au fond de l'Océan les rochers que la débâcle a détachés des côtes hyperboréennes, rochers qui s'accumulent, se cimentent, élèvent peu à peu le niveau de la mer et forment des montagnes sous-marines, qui plus tard feront des îles; les bancs de Terre-Neuve n'ont pas d'autre origine.

Ce choc effroyable a brisé le précieux courant, mais ses tronçons épars continuent leur rôle bienfaisant, l'un court au nord-est, et conserve assez de chaleur et de force pour venir fondre les glaces sur les côtes de l'Islande et de la Norwége, et y jeter les troncs d'arbres des forêts équatoriales, seule provision de combustible qu'aient ces pays désolés par le froid. Un autre de ses bras entoure d'une ceinture d'eau tiède les îles Britanniques, y fait fleurir le myrte, y entretient des arbres et des prairies toujours vertes, et sans lui l'Écosse aurait la température du Labrador et de la Sibérie qui, situées sous la même latitude, ont pendant l'hiver la moyenne effrayante de 20 degrés au-dessous de zéro. Une troisième branche pénètre dans la Manche et fait régner à Cherbourg et à Saint-Malo une température hivernale plus douce que celle de la Lombardie. Il n'est pas rare de voir plusieurs hivers se passer sans gelées en Bretagne, le figuier y donne d'excellents fruits, et les primeurs de Rostock sont connues de tout le monde. Enfin le Golfstrim, épuisé et refroidi, amène un peu de fraîcheur sur les côtes de Portugal et d'Afrique, et va, de l'autre côté des îles du Cap-Vert, rejoindre le courant équatorial qui le reporte à son foyer primitif.

Ne voyez-vous pas dans ce merveilleux départ, dans ce plus merveilleux retour, dans ce cercle parfait que rien ne brise, ne voyez-vous pas le modèle construit par un géant de ces calorifères à circulation d'eau, dans lesquels l'eau bouillante partie d'une chaudière y revient après avoir porté la chaleur dans une serre ou dans une maison où elle circule dans des tuyaux communiquant les uns avec les autres? Ne voyez-vous pas que si l'eau cessait de jouir de cette chaleur spécifique exceptionnelle, en vertu de laquelle le Golfstrim ne perd pas un demi-degré par centaine de lieues, le Mexique et les Antilles brûlés par le soleil, nos pays plongés dans un froid glacial, deviendraient à peu près inhabitables par l'exagération inverse de leur température? On a calculé que si la chaleur du Golfstrim se dégageait instantanément, elle serait assez intense pour porter au rouge blanc la colonne d'air qui recouvre son lit.

L'étude du rôle de l'eau dans l'alimentation va nous révéler des faits non moins dignes d'intérêt, et nous montrer une fois de plus avec quelle précision tout est disposé dans la nature pour le maintien de l'ordre et de la fécondité sur la terre.

Et d'abord, d'où vient l'eau qui, s'échappant du sol, forme les sources, les rivières et les fleuves, c'est-à-dire les eaux potables? Elle vient de la mer.

Et comment, dira-t-on, peut-il en être ainsi, puisque nous voyons ces sources, ces rivières et ces fleuves se déverser à la mer par leur pente naturelle?

Nous touchons là une des harmonies les plus belles de la nature. Par un échange incessant, par une transformation inverse, la mer forme les eaux douces, et celles-ci reconstituent la mer; et, grâce à cette circulation ininterrompue, l'équilibre des eaux et des terres subsiste immuable.

Digitized by Google

La mer forme les eaux douces par une opération appelée la *distilation*, opération très-communément exécutée par l'homme, car elle sert au pharmacien pour préparer une foule de produits, au distillateur pour rectifier ses alcools, au parfumeur pour extraire l'arome des végétaux, et au marin pour fabriquer de toutes pièces à son bord une eau douce comme celle de nos rivières : grand bienfait, qui évite beaucoup de maladies sur mer, maladies qui résultaient de la boisson des eaux saumâtres conservées dans des tonneaux au fond de la cale des navires.

Voici l'appareil qui rend tant et de si éminents servi-

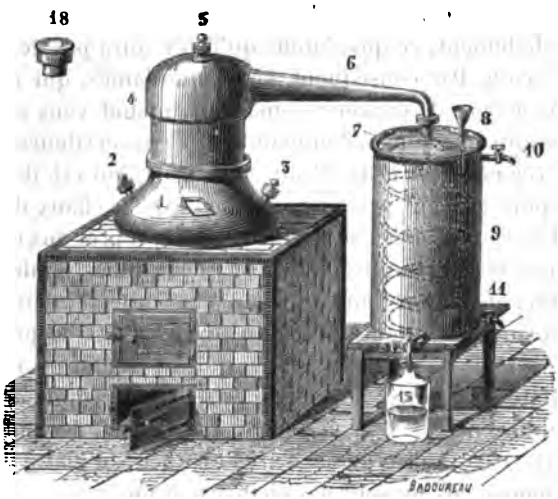


Fig. 26. — Appareil à distiller ou alambic.

1. Cucurbite ou chaudière. — 2, 3. Tubulures de la cucurbite. — 4. Chapiteau. — 5. Tubulure du chapiteau. — 6. Col du chapiteau. — 7. Serpentin représenté par deux lignes pointées. — 8. Entonnoir à longue douille par lequel on verse l'eau froide, qui arrive ainsi directement au fond du réfrigérant. — 9. Réfrigérant. — 10. Robinet supérieur du réfrigérant par lequel s'écoule l'eau qui s'est échauffée au contact du serpentin. — 11. Robinet inférieur du réfrigérant. — 12. Ajutage du serpentin par lequel s'écoule l'eau distillée qui s'y est condensée. — 13. Vase dans lequel on recueille l'eau distillée.

ces, c'est l'alambic. Trois parties le composent : la première est une chaudière où l'eau est mise en ébullition par la chaleur de ce foyer; la seconde, nommée le chapiteau, reçoit cette vapeur et la transmet à un tube contourné en spirale, nommé le serpentin, où cette vapeur se condense, parce qu'elle est refroidie au moyen d'un courant d'eau froide qui arrive dans ce manchon extérieur.

Vous pouvez juger de l'effet de cet appareil. Voici l'eau que nous retirons de la chaudière, — elle est boueuse, — tandis qu'il s'écoule du serpentin de l'eau dont la transparence ne le cède en rien à celle de la source la plus pure.

Telle est la miniature, telle est la reproduction microscopique de la distillation qui se passe entre l'eau, le ciel et la terre. La chaudière de l'alambic terrestre est l'Océan tout entier, son foyer est le soleil; ce qui revient à dire que la place de la chaudière est surtout dans la zone équatoriale. L'eau se réduit en vapeur, mais comme celle-ci est plus légère que l'air (son poids n'en est que les 6/10), elle gravit avec rapidité les régions élevées de l'atmosphère, et, comme elles sont plus froides que les couches inférieures, une partie de cette vapeur s'y précipite en pluies ou en nuages; fait bien remarqué des navigateurs, qui nomment cette région la zone des nuages, et bien digne d'attirer toute votre attention, car si les animaux et l'homme étaient exposés à l'ardeur de ce soleil de feu, sans cet écran naturel ils languiraient inertes ou mourraient épuisés.

La légèreté de la vapeur d'eau détermine dans les régions atmosphériques supérieures un courant dirigé vers les pôles, qui conduit au-dessus de nos pays ces vastes réservoirs flottants. En contact avec l'air froid de nos contrées, la vapeur se résout en pluie, ou bien allant frapper les sommets éternellement glacés des montagnes, elle se condense en neige et en glace.

L'air froid, les cimes des montagnes, les glaces du pôle, sont donc les réfrigérants de cet alambic gigantesque, dont le soleil est le foyer, l'Océan la chaudière, le ciel l'immense chapiteau, vaste alambic qui débite le volume d'eau que tous les fleuves réunis de la terre jettent dans les mers.

L'eau de pluie est donc de l'eau distillée. Seulement cette eau, en sillonnant l'atmosphère, balaye et entraîne les poussières qui y flottent, et dissout les principes de l'air, l'oxygène, l'azote et l'acide carbonique, dont nous avons fait l'étude l'année dernière.

Pour vous montrer la vérité de ce dernier point, nous chauffons un ballon complétement rempli d'eau de pluie. Il s'en dégage de nombreuses bulles de gaz qui, grosses comme des têtes d'épingle, vont ensuite se réunir dans le tube et dans l'éprouvette pleine d'eau qui communiquent avec le ballon.

Le rôle de cet air vous est connu. Il sert à la respiration des animaux et des végétaux aquatiques, et sans lui la vie disparaîtrait aussitôt du sein des eaux. Jugez-en vous-même : voici de l'eau privée d'air par l'ébullition, que nous avons fait refroidir à l'abri de l'atmosphère en la recouvrant d'une mince couche d'huile; nous y introduisons un poisson, il meurt bientôt faute d'oxygène, et une plante y dépérirait par suite de l'absence d'acide carbonique.

D'ailleurs l'air de l'eau est nécessaire à l'homme, car il est bien constaté maintenant que certaines maladies, spéciales aux pays montagneux où l'on boit exclusivement de l'eau des glaciers, sont dues à l'absence de principes aériens, qui rendent, en outre, l'eau très-agréable au goût.

Lorsque l'eau tombe sur le sol, de nouveaux phénomènes bien dignes de toute votre attention apparaissent. Cette eau dissout les principes du sol, et il est clair alors que, si ces substances étaient des poisons, cette eau causerait notre mort quand nous la consommerions. Mais il est loin d'en être ainsi; l'Architecte de l'univers a si bien disposé et calculé tout sur la terre, que les substances qui constituent son écorce sont nécessaires au développement de notre corps, et par conséquent lors-

Digitized by Google

que l'eau pénètre dans notre organisme elle y apporte non-seulement un agent rafraîchissant, mais encore de véritables aliments. Les matières minérales dissoutes par les eaux sont nombreuses; les plus importantes sont la chaux, qui forme la majeure partie de nos os, le sel, substance indispensable au développement de l'homme et des animaux, et la silice, matière dure, qui donne à la tige du blé la rigidité sans laquelle le moindre vent coucherait l'épi sur la terre. Enfin, M. Péligot a montré que l'eau dissout dans le sol une grande quantité d'acide carbonique provenant de la décomposition des matières organiques, car l'air de l'eau de pluie ne renferme guère que 2,5 pour 100 d'acide carbonique, tandis que l'air contenu dans les eaux douces en est à moitié formé environ.

Or, je vous demande, est-il rien de plus simple dans la forme, de plus grandiose dans la réalité? est il rien de plus saisissant que le spectacle de cette goutte d'eau qui s'échappe de l'Océan, traverse les airs et retombe en pluie, puise dans l'air et dans le sol les matériaux nécessaires au développement de tous les êtres vivants, et vient porter la fécondité dans la terre et dans les eaux?

Pressé par le temps, je ne m'occuperai que de la plus importante des matières minérales que l'on rencontre dans les eaux potables, de la chaux, et je vais d'abord vous faire connaître un réactif simple, précieux, expéditif, économique, à l'aide duquel chacun de vous pourra s'assurer si telle ou telle eau est calcaire. Ce réactif est de l'eau de savon rendue limpide par la filtration; si l'on en verse dans l'eau, et que celle-ci se trouble, vous en conclurez qu'elle est calcaire, et vous pourrez évaluer sa richesse en chaux par l'abondance du dépôt qui se forme.

Si nous essayons par ce réactif l'eau distillée et les eaux qui servent à notre alimentation, telles que l'eau de la Dhuis, l'eau de Seine, l'eau d'Arcueil et l'eau des puits de Paris, nous sommes immédiatement frappés par la différence qu'elles présentent. L'eau distillée conserve sa limpidité, dans l'eau de la Dhuis paraît un trouble léger qui s'accentue dans l'eau de Seine, qui devient un peu plus fort dans l'eau d'Arcueil et qui se change en abondants grumeaux dans l'eau de puits. Conclurons-nous de cet essai que la dernière de ces eaux doit être préférée aux autres? Loin de là, la chaux est nécessaire pour qu'une eau potable soit de bonne qualité, mais la proportion de chaux doit être très-faible, et enfin elle doit se trouver dans l'eau sous forme de craie — ou de carbonate de chaux, pour employer le terme scientifique, —et non à l'état de plâtre, c'est-à-dire de chaux unie à l'acide sulfurique, de sulfate de chaux.

Lorsqu'une eau contient beaucoup de chaux, et surtout beaucoup de sulfate de chaux, on dit qu'elle est *séléniteuse*, et elle est alors impropre aux divers usages économiques, industriels et alimentaires.

L'expérience dont les résultats sont encore sous vos yeux peint parfaitement la valeur relative de ces eaux pour le savonnage. En effet, la mousse, dont la production amène le nettoyage du linge, ne se forme qu'au moment où la chaux s'est séparée de l'eau; dès lors plus l'eau sera calcaire plus elle consommera de savon en pure perte, et, pour mieux vous faire apprécier ces différences, je vous dirai que 1000 litres d'eau de Seine usent, sans aucun effet utile, 2 kilogrammes de savon; que le même volume d'eau de Marne en absorbe 2 ,5; l'eau de l'Ourcq, 3 kilogrammes; l'eau d'Arcueil 3^{kil},3/4, et l'eau de puits de Paris, le chiffre énorme de 15 à 16 kilogrammes.

Il est clair que l'eau de pluie produira la mousse immédiatement, ce qui signifie qu'il n'y aura pas de perte de savon. Par conséquent, vous, mesdames, qui ne dédaignez pas de diriger vos maisons, quand vous serez à la campagne vous recommanderez à vos serviteurs d'employer pour cet usage l'eau de citerne, qui est de l'eau de pluie n'ayant pas eu de contact avec la chaux du sol.

Les eaux plâtrées sont tout aussi impropres aux usages alimentaires et industriels. Voici deux tubes semblables contenant l'un et l'autre des pois; ils ont été maintenus pendant deux heures au bain-marie. Dans le premier vase est de l'eau de la Dhuis qui ne renferme pas de sulfate de chaux; les légumes se sont réduits en une bouillie épaisse. Dans le second est de l'eau des puits de Paris, c'est-à-dire une eau très-chargée de plâtre; non-seulement ils ne sont pas changés en une matière molle et savoureuse, mais ils ont formé une substance coriace, dure comme de la pierre.

Ces eaux, placées dans une chaudière à vapeur, déposent par l'évaporation le sulfate de chaux qu'elles renferment; ce sel produit des concrétions qui encrassent les parois, consomment en pure perte beaucoup de combustible, et causeraient des explosions redoutables si l'on ne vidait pas de temps en temps la chaudière et si l'on ne les enlevait pas. Leur dureté est telle que l'on n'arrive à les détacher qu'à l'aide du pic et du marteau.

Enfin, ces eaux séléniteuses sont lourdes à l'estomac et d'une digestion très-difficile.

La chaux à l'état de carbonate, c'est-à-dire la combinaison de chaux et d'acide carbonique qui est dans beaucoup d'eaux, est loin d'avoir d'aussi fâcheux effets, et même, si elle est en faible proportion, elle donne à l'eau une saveur agréable et la rend salubre, soit en vertu d'une action physiologique spéciale, soit surtout en raison de l'acide carbonique dont chacun a pu éprouver les effets digestifs par la boisson de l'eau de Seltz.

Ce carbonate de chaux est tout à fait insoluble dans l'eau, et s'il existe dans la plupart des eaux de sources, cela tient à l'acide carbonique que la pluie emprunte à l'air et au sol; car si nous versons quelques gouttes d'eau de Seltz sur du carbonate de chaux, nous voyons ce sel se dissoudre instantanément et donner une eau qui présente la transparence, la limpidité de la plus belle source. Vous ajouterez donc ce nouveau trait à ceux que j'esquissais tout à l'heure; l'acide carbonique

Digitized by Google

ne sert pas seulement à entretenir la vie des végétaux aquatiques, il dissout encore la chaux nécessaire à notre organisme, et il fait de l'eau un véritable aliment.

Néanmoins un grand excès de carbonate de chaux dans les eaux produirait aussi des incrustations dans les chaudières, car si nous faisons bouillir une eau calcaire, elle se trouble par le dépôt de ce sel. Il n'est pas même nécessaire de la chauffer, car les conduites des eaux calcaires s'engorgent par la précipitation de ce sel, et je place sous vos yeux une incrustation qui s'est formée d'elle-même dans les canaux qui amènent l'eau d'Arcueil à Paris. On conçoit, en effet, que puisque le carbonate de chaux n'est dissous qu'à la faveur de l'acide carbonique, ce gaz doit s'échapper quand l'eau parcourt un long trajet au contact de l'air, surtout dans des canaux qui présentent des coudes, des rugosités. Chacun de vous en a fait à son insu bien des fois l'expérience. Qu'un fragment de pain, qu'un morceau de sucre tombent dans du vin de Champagne, dans de l'eau de Seltz ou dans tout autre liquide chargé d'acide carbonique, on voit aussitôt le gaz naître sur les aspérités de ces corps et s'échapper. Il est clair que ce gaz se dégagera plus facilement encore si l'on agite ces eaux, et cette circonstance est fort précieuse, car elle donne un moyen économique de purifier une eau trop calcaire en la faisant tomber une ou deux fois en cascade avant de l'engager dans l'aqueduc de dérivation, et nous en verrons tout à l'heure une heureuse application pour les eaux de Paris. Mais, chose bien digne d'intérêt, tout le calcaire ne se dépose pas; il en reste une certaine quantité, et cette quantité est telle que l'eau est légère à l'estomac et propre aux divers usages économiques et industriels.

Vous établirez donc dans vos esprits une très-grande différence entre les eaux plâtrées et les eaux carbonatées. Autant les premières sont lourdes, de mauvaise qualité à tous les points de vue, autant les secondes sont naturellement salubres et bonnes aux divers usages, ou bien susceptibles de le devenir par l'agitation et le contact de l'air.

L'instinct des animaux — et ceux qui ont eu l'heureuse fortune d'entendre la conférence de l'illustre président de ces soirées, de M. Milne Edwards, savent que cet instinct ne les trompe pas, — l'instinct des animaux les avertit de cette différence. Que l'on place un cheval devant deux seaux, l'un plein d'eau chargée de plâtre, l'autre rempli d'eau carbonatée, cet animal choisira toujours la seconde de ces eaux, et s'il n'avait à sa disposition qu'une eau plâtrée, il ne la boirait qu'avec une répugnance très-difficile à vaincre.

Il résulte des faits précédents qu'au point de vue minéral, l'eau de Seine est bien préférable à l'eau d'Arcueil, et cependant, depuis l'époque romaine jusqu'à nos jours, on a toujours préféré cette dernière. La science rend encore parfaitement compte de cette préférence, qui tient à ce que l'eau des sources possède sur l'eau des rivières de grands et précieux avantages que je voudrais graver dans vos esprits.

L'eau de source possède une température constante qui la fait paraître fraîche en été, chaude en hiver, et elle conserve cette précieuse qualité même après un long trajet dans un aqueduc couvert, par suite de cette chaleur spécifique considérable sur laquelle j'insistais à dessein tout à l'heure. L'eau de rivière est, au contraire, chaude quand la température élevée ferait désirer de l'eau fraîche, et elle est glaciale lorsque pendant les froids une eau quelque peu tiède serait des plus agréables.

L'eau de source est toujours limpide, tandis que l'eau de rivière, bourbeuse au moment des crues, est plus ou moins troublée à toute époque de l'année par une foule de matières organiques en suspension ou en dissolution. Si ces substances n'avaient que l'inconvénient d'altérer la transparence de l'eau, le mal serait faible, mais ces matières se putréfient, développent les organismes vivants en très-grand nombre, et communiquent à l'eau un goût saumâtre et une odeur plus ou moins infecte; de plus, cette putréfaction enlève l'oxygène à ces eaux, et elles deviennent lourdes à l'estomac et insalubres.

De tout temps la supériorité des eaux de source sur les eaux de rivière a été proclamée par les hommes qui dirigeaient la science, et par les peuples qui tenaient la tête des nations. Hippocrate a dit : Les meilleures eaux sont chaudes en hiver et froides en été.

Les Romains ont sanctionné cette vérité dans le monde entier. A Rome le Tibre coule à leurs pieds ; ils le dédaignent pour aller chercher au loin, à grands frais, des eaux de source qu'ils amènent dans la Ville éternelle sur des aqueducs gigantesques dont les restes donnent encore des flots d'eaux pures à leurs descendants. A Lyon, le Rhône et la Saône rivalisent et leur offrent un choix d'eau très-différent; ils délaissent l'un et l'autre pour des eaux de sources très-éloignées. Vous savez enfin que les Thermes de Julien, qui sont à deux pas de cette enceinte, étaient alimentés par la source d'Arcueil.

M. Dumas, longtemps avant qu'il pût prévoir qu'il serait amené à faire triompher ce grand principe dans les conseils de la ville de Paris, M. Dumas, dont la voix éloquente a retenti avec tant d'éclat dans la chaire de la Sorbonne, dont la parole fait loi dans le monde savant, M. Dumas insistait longuement dans ces cours sur la supériorité des eaux de source, et il citait à l'appui de cette assertion l'exemple de Laplace, qui, lorsqu'il venait habiter Paris, ne voulait pas qu'on consommât dans sa maison d'autres eaux que celles de la source d'Arcueil.

Inclinons-nous donc devant ces grands noms, admettons avec les maîtres de la science, depuis Hippocrate à M. Dumas, que l'eau de source a sur l'eau de rivière d'incontestables avantages, et voyons maintenant si Paris offre à ses habitants une quantité et surtout une qualité d'eaux en rapport avec l'état de la science et de la civilisation actuelles.

Digitized by Google

Paris, comme toutes les réunions d'hommes destinées à être le berceau d'une puissante cité, a pris naissance sur le bord d'un fleuve, parce que l'eau est avec l'air le premier besoin de l'homme. Nos pères puisaient d'abord l'eau dans la Seine, mais le grand sens pratique des Romains leur fit dériver la source d'Arcueil. A la chute de l'empire, cet aqueduc fut détruit, et ce n'est qu'au XIIe siècle que des corporations religieuses amenèrent sur la rive droite des sources de Belleville et des prés Saint-Gervais qui sont aujourd'hui très-méprisées, et qui méritent le peu d'attention qu'on leur accorde, parce qu'elles ne débitent par vingt-quatre heures que 160 mètres cubes d'une eau très-séléniteuse.

Cependant ces eaux ont alimenté Paris pendant le moyen âge et la Renaissance, et encore doit-on ajouter que les rois, peu soucieux du bien-être du peuple, accordaient à leurs favoris de larges concessions, et que la plupart du temps les fontaines publiques étaient à sec.

De temps à autre l'abus devenait si grand, qu'on révoquait toutes les concessions, mais la faveur reprenait le dessus, et jusqu'à Henri IV on voit reparaître d'une façon périodique cette double alternative. En 1550, Paris recevait seulement 200 mètres cubes d'eau par jour, soit un peu moins de 1 litre par habitant.

Henri IV attaqua le mal dans sa racine en coupant les tuyaux qui conduisaient l'eau dans les abbayes et dans les hôtels, réduisit à quatorze le nombre des concessionnaires, leur fit payer une redevance, soumit son propre palais à une réduction considérable, et fit établir sur la Seine la première pompe, nommée pompe de la Samaritaine, qui élevait l'eau dans des réservoirs placés sur le Pont-Neuf : la statue de Henri IV retrace donc le souvenir d'un véritable bienfait. La mort l'arrêta dans un vaste projet, celui de la reconstruction de l'aqueduc d'Arcueil, qui fut entrepris et terminé en 1613, par Marie de Médicis.

Sous Louis XIII et sous Louis XIV, les abus reprirent leur cours et la pénurie devint telle que le peuple menaçait d'abandonner certains quartiers. En 1671, on établit une seconde pompe; c'est la pompe Notre-Dame, que beaucoup d'entre nous ont encore vue fonctionner. Malgré ces améliorations, Paris ne recevait que 1800 mètres cubes d'eau à la fin du XVIIe siècle, soit 3 litres par habitant.

L'état des eaux alla s'empirant jusqu'en 1777, où des lettres patentes furent enfin accordées à une compagnie dirigée par les frères Périer pour établir des pompes à feu sur la Seine, pompes que l'on eut l'idée malencontreuse d'établir à Chaillot, sous la bouche des égouts. La compagnie donna de l'eau en 1782, mais elle tint si mal ses engagements, que le gouvernement dut racheter son matériel après des discussions orageuses où elle fut défendue par Beaumarchais contre les attaques du comte de Mirabeau. Un progrès notable avait cependant marqué le passage de ce siècle, car la ville jouissait de 14 litres par habitants, soit 8000 mètres cubes par vingt-quatre heures.

L'année 1797 vit éclore l'idée d'une grande entreprise, l'idée de la dérivation d'une rivière entière, de l'Ourcq, affluent de la Marne; et l'année 1801 en vit les premiers travaux, qui, poussés avec ardeur jusqu'en 1812, suspendus pendant nos désastres, repris avec mollesse par la Restauration, furent enfin terminés en 1822. Ce travail, exécuté d'après les plans et sous les ordres d'un ingénieur célèbre, Girard, est une œuvre qui frappe par la grandeur de sa conception et de ses résultats.

L'eau dérivée à Mareuil suit à ciel ouvert un canal de 100 kilomètres de longueur, et arrive à la Villette portant des bateaux qui trouvent, dans un grand bassin circulaire, une gare commode, et un port qui contient près de 200 000 mètres cubes. Ce bassin a trois issues : l'une conduit l'eau dans un vaste aqueduc qui se termine à Monceaux, après avoir suivi la ligne des anciens boulevards extérieurs. Sur cet aqueduc, nommé l'aqueduc de ceinture, se greffent une foule de conduites qui distribuent l'eau sur leur passage, et qui vont remplir les réservoirs de la rive gauche par la simple pression qui résulte de la hauteur de cet aqueduc. Le reste des eaux alimente le canal Saint-Denis et le canal Saint-Martin.

Après ces remarquables travaux, après l'établissement successif de dix-huit machines à vapeur qui puisent l'eau dans la Seine à divers points, après le forage des puits de Grenelle et de Passy, la ville de Paris pouvait disposer, il y a six mois, de 195 000 mètres cubes, ce qui fait 195 millions de litres par jour, se décomposant ainsi :

Eau de l'Ourcq	105 000
Eau de Seine	80 000
Eaux des puits artésiens, de Belleville, d'Arcueil	10 000
	195 000

soit 115 litres pour chacun de nous, par vingt-quatre heures.

Ce chiffre en apparence fort exagéré s'amoindrit beaucoup quand on calcule que par un beau dimanche d'été les bois de Boulogne et de Vincennes en absorbent 35 000 mètres cubes, les fontaines et les squares 25 000 mètres cubes, et que les 3000 bornes-fontaines débitent en trois heures 90 000 mètres cubes. Ajoutez-y les 80 000 mètres cubes que dépense le service privé, et vous vous expliquerez comment on a littéralement manqué d'eau à certains jours de l'été dernier; mais la qualité laisse encore beaucoup plus à désirer que la quantité.

Le canal de l'Ourcq est, comme nous l'avons dit, une conception majestueuse, mais elle pèche par sa grandeur même, et c'est au point de vue qui nous occupe une faute, et une faute grave, d'avoir voulu en faire une sorte de travail à deux fins, un canal navigable et un aqueduc. Son eau, dans les 100 kilomètres qu'elle parcourt à ciel ouvert, dans son séjour au bassin de la

Digitized by Google

Villette, s'échauffe ou se refroidit trop suivant la saison. Six cents bateaux sillonnent son cours, seize cents mariniers vivent ou travaillent sur ces bateaux, et jamais ce bassin n'a été curé; il faudrait, pour pouvoir exécuter ce travail, que nous nous passions de boire pendant plus d'un mois. D'ailleurs cette eau est un peu séléniteuse et lourde à l'estomac, les Romains l'eussent rejetée de leur consommation.

L'état de l'eau de la Seine puisée à Chaillot (et en 1857, les 5/6 de l'eau étaient pompés en ce point) est pis encore. M. Peligot y a trouvé, comme dans l'eau de l'Ourcq, des matières organiques azotées qu'on ne rencontre jamais dans l'eau d'Arcueil et dans les eaux de sources en général, et je trouve dans le rapport officiel adressé par M. Dumas au conseil municipal, le renseignement qui suit.

Après la grande sécheresse de 1858, il ne coulait au Pont-Royal que 44 mètres cubes d'eau par seconde; or, comme les égouts jetaient dans la Seine 1 mètre cube d'eau par seconde, il en résulte que les pompes de Chaillot nous désaltéraient avec 1 litre d'eau d'égout sur 44. Ces chiffres parlent assez, parlent trop, et je m'en tiens là pour vous demander ce que l'on doit conclure? qu'un pareil état de choses était intolérable, et qu'il fallait créer un vaste système qui dotât Paris d'une quantité suffisante d'eau salubre, fraîche en été, douce en hiver, et toujours limpide. Mais une cité doit être plus prévoyante encore qu'un père de famille, et si l'on mettait la main à l'œuvre, il fallait organiser un système qui assurât pour de longs siècles l'alimentation de nos enfants. Sur cette question de principes, tout le monde est d'accord, mais il n'en est pas de même pour les détails; chacun arrivait avec un plan différent, et il est clair que lui seul résolvait le problème.

Les uns, confiants dans le succès du puits de Grenelle, voulaient un puits artésien dans chaque quartier. Mais, outre que cette eau arrive chaude sur le sol, l'établissement du puits de Passy a considérablement diminué le débit du premier; qu'arriverait-il si l'on forait vingt ou trente puits dans Paris?

Est-il prudent d'ailleurs de confier toute notre alimentation à des sources que leur profondeur nous empêche d'aller visiter? On a vu en Toscane des sources jaillir du sol en 1846, après quelques secousses de tremblement de terre; or, je vous le demande, si ces sources avaient alimenté des puits artésiens, que seraient-ils devenus? Paris, pensez-vous en ce moment, est peu sujet aux tremblements de terre : j'en conviens, cependant le 16 novembre 1843, les eaux du puits de Grenelle se troublèrent et une boue épaisse en jaillit. Leur débit baissa de moitié, et pendant plus de deux mois elles coulèrent troubles et noirâtres à divers intervalles. Enfin, M. Peligot a montré que ces eaux participent déjà aux propriétés des eaux minérales; elles renferment des proportions sensibles, notables de carbonate de potasse, et elles ne contiennent pas de gaz oxygène.

D'autres voulaient amener la Loire à Paris. A quoi bon, direz-vous, puisque nous avons la Seine? C'est que l'eau de Loire arriverait par sa pente naturelle sur les coteaux les plus élevés de la ville. L'auteur de ce plan puisait chaque jour dans ce fleuve 500 à 600 000 mètres cubes d'eau qu'il amenait par un vaste canal sur les hauteurs de Satory, d'où il les déversait dans les charmants vallons qui séparent Versailles de Meudon transformés en vastes lacs couverts, contenant 40 millions de mètres cubes. On n'amenait l'eau dans ces sortes de caves que deux fois par an, à la fin de l'hiver et de l'été, afin que les eaux eussent le temps d'acquérir pendant le printemps et l'automne une température uniforme et convenable. Ce projet fournissait, il est vrai, beaucoup plus d'eau que Paris n'en réclamera de longtemps, mais il avait le double inconvénient d'appauvrir la Loire, qui manque souvent d'eau pour ses riverains, et d'entraîner à de telles dépenses qu'elles faisaient reculer notre administration municipale elle-même, ce qui fit dire spirituellement au préfet de la Seine :

« Les finances de la ville s'épancheraient avec aussi peu de mesure que l'eau, et ne serviraient qu'à grossir la Seine. »

Une troisième série de projets avait pour but de puiser l'eau dans la Seine, et, il faut bien le reconnaître, beaucoup d'entre nous inclinaient vers cette solution. L'eau de Seine est, il est vrai, tiède en été et froide en hiver; le Parisien répondait qu'il avait de la glace, ou tout au moins une cave fraîche, et que d'ailleurs le vin corrigeait cette eau. C'est vrai : mais l'ouvrier a-t-il une cave? a-t-il toujours du vin? sa ménagère a-t-elle même le temps, au sortir de son travail, de rafraîchir la boisson de la famille dans un seau d'eau de puits? Cette eau est souvent trouble, et en tout temps elle est chargée de matières putrescibles; n'avons-nous pas dans chaque office une fontaine filtrante? et ne payons-nous pas sans y penser l'impôt de porteur d'eau? J'en conviens, mais le ménage nécessiteux n'a pas le moyen d'acheter un filtre ou de payer son eau, et alors il boit l'eau de la borne-fontaine, chaude, froide, trouble, jaunâtre, telle qu'elle se trouve en un mot. J'aime d'ailleurs à m'abriter derrière les grands noms de la science, et voici ce que publiait M. Peligot il y a quelques mois.

« Les professeurs de chimie qui, comme moi, font » depuis longues années et périodiquement l'examen » comparatif des eaux de Paris, ont bien dû reconnaître » que les eaux de la Seine et de l'Ourcq ne sont plus au- » jourd'hui ce qu'elles étaient il y a vingt ou trente ans. » Les industries les plus gênantes au point de vue de » l'hygiène publique sont assurément celles qui sont » fondées sur le traitement des produits dérivés des » animaux : comme elles ne peuvent exister qu'en raison » d'une grande agglomération d'individus, on ne peut » pas songer à les déplacer; il faut donc se résigner à » leur sacrifier la rivière, dans laquelle on les contraint

Digitized by Google

» à envoyer, par la voie la plus sûre et la plus courte, » tous les débris de leurs fabrications.

» La Seine échappe moins que toute autre rivière à » cette cause incessante d'altération. Aussi doit-on savoir » grand gré à l'administration municipale d'avoir devancé » l'opinion publique sur la nécessité prochaine de pour- » voir la cité d'eau de meilleure qualité, et applaudir » aux efforts qu'elle fait depuis plusieurs années pour » réaliser cette importante amélioration. »

Le projet d'un ingénieur habile, M. Lechatelier, avait l'espoir de vaincre ces diverses difficultés. Vous allez en juger : une première série de machines à vapeur établies au pont d'Ivry sur la Seine avant sa jonction avec la Marne, élevait les eaux à quelques mètres dans un bassin où elle se débarrassait de la partie la plus grossière de ses impuretés. Elle s'écoulait ensuite sur des filtres portés par des voûtes recouvrant de vastes réservoirs où l'eau était rafraîchie pendant l'été par un vif courant d'air lancé par les machines à vapeur. Enfin l'eau clarifiée était chassée par une deuxième série de machines dans des réservoirs situés à la cime du coteau de Belleville, le plus élevé de Paris. Quelque séduisant que fût ce projet au premier aperçu, il n'a point été adopté, et l'on ne peut qu'en louer notre administration municipale. Personne de vous n'en douterait s'il prenait le plaisir de lire le rapport aussi clair qu'intéressant de M. Dumas, le savant qui préside avec tant de distinction et d'autorité les délibérations du conseil municipal.

L'eau eût été froide en hiver, et il est douteux que le courant d'air eût suffi à rafraîchir 100 000 mètres cubes d'eaux potables dont la ville a besoin chaque jour. Il a paru plus improbable encore qu'on arrivât à filtrer économiquement cet énorme volume d'eau, et nous serions alors retombés sur l'impôt du porteur d'eau.

Ce système avait l'inconvénient de subordonner notre alimentation au jeu de machines qui, malgré le perfectionnement des arts, sont exposées à de nombreuses avaries, et dont l'entretien est dispendieux. Le budget de la ville eût été grevé perpétuellement des sommes énormes que nécessite la marche des machines à vapeur. Enfin, en supposant qu'aucune chance malheureuse ne survînt, ce projet fournissait l'eau à un prix plus élevé que le projet adopté par le préfet de la Seine après avoir reçu la sanction du conseil des ponts-et-chaussées, et de la commission municipale, projet qui consiste à alimenter Paris par de l'eau de source qui nous donnera, qui donne déjà à Montmartre et aux autres quartiers élevés de Paris des eaux aussi pures que l'eau de Seine au point de vue minéral, qui ont l'avantage d'être fraîches en été, tièdes en hiver, toujours limpides, et qui ne coûteront à nos descendants que la somme minime nécessaire pour l'entretien d'un aqueduc de pierre et de fer.

L'origine de ce projet date des premiers temps de l'administration actuelle. Le préfet de la Seine chargea en 1845 un ingénieur habile, M. Belgrand, de rechercher s'il n'existait pas dans le bassin de Paris des sources aussi pures que les eaux de Seine, et situées à une altitude telle que la pente naturelle pût les amener sur le coteau de Belleville. La situation de Paris, au centre d'un vaste banc de gypse, faisait pressentir qu'on ne rencontrerait de sources convenables qu'à une distance assez grande. M. Belgrand fit l'analyse de 299 sources, mesura leur débit pendant les crues et pendant les sécheresses, détermina leur température et arriva à cette conclusion que les eaux granitiques du Morvan étaient d'excellente qualité, mais trop faibles et trop distantes de Paris ; que les eaux de la Beauce et des environs de Fontainebleau étaient dans de bonnes conditions, mais qu'on ne pouvait songer à leur dérivation parce qu'elles servaient de force motrice à d'importantes usines ; enfin, qu'il y avait à l'origine de la Champagne, soit entre Château-Thierry et Châlons, soit entre Troyes et Sens, de nombreuses sources peu ou pas utilisées et réalisant toutes les conditions du programme.

La ville de Paris fut autorisée à faire l'acquisition de la source de la Dhuis, petite rivière située près de Château-Thierry, qui peut fournir 40 000 mètres cubes d'eau par jour, et de diverses sources de la Vanne, rivière qui coule entre Troyes et Sens, dont le volume atteint 100 000 mètres cubes. Cette quantité n'a pas sensiblement baissé pendant les grandes sécheresses de 1857, 1858 et 1859. Aucune de ces sources ne contient de sulfate de chaux ; celles de la Vanne sont moins chargées de carbonate de chaux que la Seine, la Dhuis en renferme un peu plus, il est vrai, mais comme elle ne renferme pas de sulfate de chaux, il en résulte que la quantité totale de chaux contenue dans la Dhuis à sa source est la même que celle de la Seine.

On se mit aussitôt à l'œuvre pour la dérivation des eaux de la Dhuis, parce que cette source peut seule arriver à une hauteur suffisante pour desservir les quartiers hauts de Paris. Au point de départ de la dérivation on a ménagé une chute dans laquelle l'eau tombant en pluie se débarrasse de son excès de carbonate de chaux ; puis, par excès de précaution, on a établi un double aqueduc sur une longueur de 1 kilomètre, afin que si l'eau formait un dépôt, on pût, sans arrêter la circulation, enlever les incrustations et assurer le service. L'aqueduc suit les coteaux de la rive gauche de la Marne jusqu'à Chalifert, où il franchit la rivière pour en suivre la rive droite jusqu'auprès de Paris, et il arrive à Belleville après un parcours de 140 kilomètres.

Cet aqueduc est formé de galeries en maçonnerie qu'on a réunies au passage des vallées par des conduites de fonte de 1 mètre de diamètre enfouies à un mètre sous le sol comme les galeries, afin que l'eau conserve la température de la source.

La Dhuis arrive depuis quelques mois sur le coteau de Ménilmontant à 108 mètres d'altitude, tandis que le bassin de l'Ourcq à la Villette n'est qu'à 52 mètres. Cette eau est distribuée directement dans Paris, mais on a construit en ce point deux vastes réservoirs conte-

Digitized by Google

nant 100 000 mètres cubes, c'est-à-dire 100 millions de litres. Ils sont recouverts de terre et de gazon, et par conséquent l'eau s'y conserve à la température de la source, et ne peut se remplir des organismes vivants que la lumière développe dans les eaux. Un seul de ces réservoirs est terminé; l'autre le sera prochainement, et l'on ne peut voir sans un certain plaisir cette eau dont l'azur rappelle celui des lacs de Suisse, dont la limpidité est telle qu'on aperçoit le fond du réservoir comme s'il n'était qu'à quelques centimètres, et dont la température de 10 à 11 degrés, représente dans nos climats la fraîcheur en été et une douce chaleur en hiver.

Cette eau dessert déjà les points élevés de Paris qui manquaient d'eau, et l'on va commencer les travaux de dérivation de la Vanne, qui amèneront les 100 millions de litres de ces sources dans des réservoirs établis à Montrouge à une altitude de 80 mètres.

A ce moment Paris disposera de 140 000 mètres cubes, soit 140 millions de litres d'eau de source par vingt-quatre heures, ce qui correspond à 82 litres par habitant. Cette eau servira seule à l'alimentation; aussi arrivera-t-elle par des conduites spéciales, qui d'ailleurs existent déjà dans beaucoup de rues de Paris desservies aujourd'hui par de l'eau de Seine et de l'eau de l'Ourcq.

L'eau de Seine, de l'Ourcq, des puits artésiens, d'Arcueil représentant un total de 195 000 mètres cubes, à laquelle se joindront 120 000 mètres cubes d'eau de la Marne, montée économiquement par des appareils hydrauliques, serviront au nettoyage des rues et des égouts, à l'entretien des fontaines décoratives, des squares et des bois de Vincennes et de Boulogne. Si l'on réunit ces diverses sortes d'eau en un total unique, on voit que d'ici à deux ou trois ans Paris recevra 455 000 mètres cubes d'eau par jour ou 267 litres par habitant, chiffre considérable, mais qui n'est pas exagéré si on le compare au volume d'eau d'un grand nombre de villes. Sans parler de la Rome antique, qui fournissait à chacun de ses habitants, d'après les calculs les moins élevés, 1500 litres d'eau par jour,

La Rome des papes en donne	900	litres
New-York	560	»
Carcassonne	400	»
Besançon et Dijon	250	»

Distribuer en abondance l'eau dans une ville n'est que résoudre la moitié du problème. Cette eau, une fois qu'elle a rempli son effet utile, s'est corrompue, chargée de principes putrescibles, et il faut se hâter de la faire disparaître. L'irrigation d'une ville, comme celle d'une prairie, doit être suivie de son drainage, sans quoi la cité devient fangeuse, infecte, et dangereuse à habiter.

Paris eut dès l'origine trois exutoires; la Seine à son centre et deux égouts plus petits qui se jettent dans le précédent; c'est la Bièvre au sud, et au nord un ruisseau qui, partant du pied de Ménilmontant, se rendait dans la Seine à Chaillot après avoir suivi sensiblement la direction des boulevards intérieurs.

Les eaux ménagères et pluviales y arrivaient par des rigoles découvertes situées au milieu des rues; le premier égout couvert date de 1343, et sous Louis XIV le quart des égouts était encore formé de ces ruisseaux où croupissaient les eaux savonneuses et ménagères pendant les temps secs, et qui débordaient à la moindre averse, comme le dit Boileau :

> Pour traverser la rue au milieu de l'orage,
> Un ais sur deux pavés forme un étroit passage;
> Le plus hardi laquais n'y marche qu'en tremblant,
> Il faut pourtant passer sur ce pont chancelant;
> Et les nombreux torrents qui tombent des gouttières
> Grossissant les ruisseaux, en ont fait des rivières.

Comme on manquait d'eau pour l'alimentation, il est clair qu'on chargeait l'eau du ciel de laver ces égouts. Turgot fit voûter le ruisseau de Ménilmontant qui constitue l'égout actuel des coteaux sur la rive droite, et beaucoup d'entre nous ont vu le dernier de ces ruisseaux infects, l'égout du Ponceau, qui a disparu dès le début de l'administration actuelle.

Jusqu'à ces années dernières, les égouts se déversaient dans la Seine au milieu de Paris, et si les quais sont une promenade si peu fréquentée, c'est en partie, au moins, parce qu'à chaque pas on avait sous les yeux un immonde ruisseau répandant une odeur infecte et insalubre. Aujourd'hui ce système barbare a cessé ou va disparaître. Sur la rive droite, un vaste collecteur chargé du produit de tous les égouts porte ces matières en aval du pont d'Asnières après avoir passé en tunnel sous le boulevard Malesherbes, sous Monceau et Clichy. Cet ouvrage est le plus vaste et le plus grandiose qui ait été construit, et le grand égout de Rome, la *cloaca maxima*, regardé comme une merveille par ces puissants constructeurs, avait des dimensions moindres. Sa forme est celle d'un œuf, sa hauteur et sa largeur sont de 5 mètres environ.

Les collecteurs de la rive gauche chargés de l'eau fangeuse de la Bièvre traverseront la Seine près du pont de l'Alma, dans un large siphon de tôle placé à deux mètres au-dessous des basses eaux, et ces liquides réunis aux eaux d'égout de la Cité et de l'île Saint-Louis s'en iront invisibles se déverser dans la Seine à Neuilly.

Diverses dispositions sont à l'étude, soit pour nous débarrasser directement des résidus ménagers qui, jetés dans les rues chaque soir, gênent la circulation et vicient l'air, soit surtout pour délivrer la ville des bruits incommodes et des odeurs infectes qu'entraîne la vidange effectuée par des voitures qui n'ont d'inodore que le nom.

Chacun de vous obtiendra facilement l'autorisation de visiter les deux étages des réservoirs d'eau de la Dhuis et de la Marne superposés, et les grands collecteurs souterrains. Dans l'égout de Sébastopol, l'odeur du liquide qui le parcourt est si faible qu'on reconnaît aisément le

Digitized by Google

moment où l'on passe sous l'établissement d'un parfumeur, et par conséquent, mesdames, vous ferez ce petit voyage partie en bateau, partie en chemin de fer, sans que votre odorat soit mis à une trop rude épreuve. Sous chaque maison sera une cour communiquant avec la galerie de l'égout, portant le numéro de la maison, de sorte que le curage des fosses se fera sous terre, et le transport s'opérera par des wagons dont les rails reposent sur le bord du trottoir.

Enfin, au plafond de ces galeries on fixe les fils télégraphiques de la ville et l'on dispose sur des supports les doubles conduites d'eau; par ce moyen la circulation ne sera pas arrêtée à chaque instant par les excavations que nécessite la réparation de ces tuyaux.

Tel est, messieurs, dans son ensemble, le magnifique système d'irrigation et de drainage dont Paris commence à ressentir les effets bienfaisants, système comparable au mécanisme de la circulation du sang dans le corps humain. Ce liquide s'élance des poumons dans les artères; il est limpide et clair. Il traverse les veines en se noircissant et il se débarrasse sur sa route des produits inutiles et nuisibles à notre vie.

Les flots d'eau limpide dont Paris dispose déjà constituent son système artériel; les égouts forment ses veines. Quelques chiffres peindront dans vos esprits la grandeur de ce réseau.

En 1853, Paris et la banlieue annexée maintenant possédait 192 kilomètres d'égouts; placés bout à bout le long du chemin de fer de Paris à Lyon, ils seraient arrivés à Tonnerre. Les 420 kilomètres qui sont construits maintenant aboutiraient à Mâcon.

En 1853, les conduites d'eau avaient la longueur précise qui sépare Paris de Lyon, c'est-à-dire 509 kilomètres; mais si nous voulions représenter aujourd'hui leur longueur, la ligne de Paris à Marseille, qui est la plus grande de France, ne suffirait plus, car Marseille n'est qu'à 863 kilomètres de Paris, et les conduites d'eaux ont 1100 kilomètres, c'est-à-dire la longueur du chemin de fer qui, partant de Bruxelles, passant par Paris arrive à Marseille; dans quelques années, lorsque les 600 kilomètres de conduites en projet seront terminées, elles dépasseront de 300 kilomètres la distance qui sépare Paris de la capitale de l'Autriche.

Il est cependant une lacune dans ce vaste système, lacune que ne présentent pas les œuvres de l'Architecte de l'univers. Les produits des veines de Paris, les liquides des égouts, véritables poisons pour l'homme, sont au contraire la source de la vie des végétaux, et cependant nous en privons nos campagnes, en les jetant dans la Seine, au juste mécontentement des riverains situés au-dessous du collecteur, — double inconvénient des plus graves.

Rappelez-vous, en effet, les eaux tièdes du Golfstrim qui, parties du Mexique dont elles rafraîchissent le brûlant climat, vont *consoler le pôle*, suivant la poétique expression de M. Michelet, et qui revient à leur foyer pour recommencer à jamais leur merveilleux et bienfaisant circuit.

Rappelez-vous la goutte d'eau de l'Océan qui gravit invisible aux régions supérieures de l'atmosphère des tropiques, qui portée à travers les cieux retombe en pluie, puise dans l'air et dans le sol les éléments de vie des végétaux, des animaux et de l'homme, maintient l'harmonie et la fécondité sur la terre et dans les eaux, et revient dans l'Océan recommencer ce cercle à jamais ininterrompu; et vous reconnaîtrez la supériorité de l'œuvre de Dieu sur celle de l'homme si grandiose qu'elle soit.

Il serait à désirer qu'au lieu de perdre pour la France les produits des veines de Paris, qu'au lieu d'en infecter la Seine qui les emmène à la mer, d'où ils se répandent sur les rives étrangères et y portent la fertilité, il serait à désirer que ces eaux fussent épanchées sur les vastes plaines qui sont au-dessous de Paris et qu'elles fussent mises à la disposition de l'agriculture. Le sol se chargerait de rendre l'eau à la Seine, puis à la mer, après l'avoir filtrée, il absorberait le précieux limon que contiennent ces eaux, et sur ce sol pousseraient avec vigueur des céréales, des légumes, des fruits qui viendraient servir à l'alimentation de Paris.

Et alors si ce vœu se réalise, — et pour ma part je ne doute pas que ceux qui vivront encore quelques années jouiront de ce merveilleux spectacle, — si ce vœu se réalise, rien ne sera perdu, le cercle sera fermé, et l'œuvre des hommes se rapprochera par sa perfection des œuvres de la nature.

ALFRED RICHE,
Professeur agrégé à l'École de pharmacie.

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

PHYSIQUE MÉDICALE

COURS DE M. GAVARRET

De l'atmosphère.

La terre est entourée d'une masse gazeuse de treize à quatorze lieues d'épaisseur, l'enveloppant de toute part et répandue uniformément autour d'elle. Entre cette atmosphère et les êtres organisés, les échanges sont incessants; les animaux et les végétaux lui empruntent les matériaux nécessaires à l'accomplissement de leurs fonctions; leur développement complet et même leur existence dépendent entièrement des circonstances que crée autour d'eux cet océan gazeux.

L'air contient des gaz et des vapeurs à l'état de simple mélange; il contient aussi des poussières de toute sorte, les unes minérales, les autres organiques formées de détritus végétaux de toute nature, de graines, de germes qui, par l'action des vents, se trouvent transportées à des distances immenses. Il n'entre pas dans notre sujet de traiter la question de l'analyse de l'air et d'examiner

Digitized by Google

tous les procédés qui la concernent; nous étudierons le rôle joué par les divers éléments de l'air dans l'accomplissement des phénomènes de la vie; nous chercherons si la proportion de ces éléments peut varier. Nous nous occuperons ensuite de l'influence exercée sur l'économie par la pression atmosphérique et les variations de température.

Pendant toute la durée de leur existence les animaux empruntent à l'air ambiant une quantité d'oxygène variable avec l'espèce animale que l'on considère. Cet oxygène, absorbé par les surfaces respiratoires, est entraîné dans le torrent circulatoire; arrivé dans les capillaires généraux, il brûle les matériaux organiques du sang, matières ternaires et quaternaires; finalement l'animal rend à l'atmosphère de l'acide carbonique. Chez les animaux inférieurs, la peau joue aussi un grand rôle dans l'accomplissement de la fonction respiratoire, et toutes les surfaces directement accessibles au milieu ambiant jouissent à un haut degré de la propriété d'absorber l'oxygène et d'exhaler l'acide carbonique produit. L'oxygène de l'air joue aussi un rôle important dans le développement des végétaux. Pendant toute la durée de la germination, la graine absorbe de l'oxygène, brûle son carbone et exhale de l'acide carbonique. A une autre période de son existence, par ses organes de reproduction, le végétal se conduit encore comme un animal. La fleur en effet par toutes ses parties colorées puise de l'oxygène dans l'air ambiant et rend à l'atmosphère par exhalation de l'acide carbonique. Dans l'obscurité, les parties vertes des végétaux, les jeunes pousses, absorbent également de l'oxygène, brûlent leur carbone et rejettent de l'acide carbonique; les fonctions du végétal sont alors très-peu actives, mais elles ne méritent pas moins d'être signalées. Ainsi la vie est impossible sans oxygène; l'animal ne peut pas vivre, la plante ne peut ni germer ni se reproduire.

Le rôle de l'azote dans l'atmosphère est purement négatif. D'après les expériences de Dulong et de M. Regnault, il est parfaitement établi que les animaux, dans les conditions normales, exhalent de l'azote qu'ils rejettent dans l'atmosphère, sans jamais lui en emprunter. Il résulte cependant des expériences de M. Regnault que les animaux jeunes soumis à l'inanition peuvent, dans certains cas, emprunter à l'atmosphère une très-minime proportion d'azote. Quant au végétal, prend-il directement de l'azote à l'atmosphère? Oui, mais non pas à l'état de corps simple. Tout porte à penser que l'azote nécessaire à son développement provient de la décomposition de l'ammoniaque qui se trouve répandue dans l'atmosphère et des matières azotées fournies par le sol.

Nous avons vu que le résultat principal de la respiration des animaux était la formation et l'exhalation d'une quantité considérable d'acide carbonique. Cependant M. Morren a mis en évidence un fait d'une haute importance, relativement à l'action exercée par une certaine classe d'animaux sur l'air atmosphérique. Il résulte des recherches de ce savant que les animaux microscopiques de couleur verte et rouge qui apparaissent à la surface des eaux stagnantes ont la propriété, sous l'influence de la radiation solaire, d'absorber l'acide carbonique de l'air, de le décomposer et de dégager de l'oxygène. Il en est de même de ces infusoires qui existent dans l'eau de la mer, tellement nombreux dans certains parages, que l'eau en est vivement colorée; ils se conduisent donc à l'inverse des autres animaux.

L'acide carbonique est en réalité pour les végétaux ce que l'oxygène est pour les animaux. Ce gaz joue à ce titre un rôle immense dans les phénomènes de la vie à la surface du globe. La végétation tout entière se passe sous l'influence de la radiation solaire à absorber par les parties vertes l'acide carbonique et à le décomposer, le carbone est fixé et l'oxygène rendu au milieu ambiant. Relativement à l'atmosphère, il y a antagonisme complet entre l'animal et le végétal. La disparition de l'acide carbonique entraînerait comme conséquence immédiate et directe la cessation de toute végétation à la surface du globe. Or, comme les végétaux sont le grand réservoir qui sert directement ou indirectement à l'alimentation des animaux, la cessation de la végétation amènerait bien vite la destruction de l'animalité.

L'ammoniaque est en très-faible proportion dans l'atmosphère où il fournit aux végétaux une partie de l'azote indispensable à leur nutrition. On comprend facilement toute l'importance de cette faible proportion d'ammoniaque en songeant au rôle du végétal qui a pour mission de faire passer la molécule inorganique à l'état de molécule organique.

L'air contient normalement quelques traces d'hydrogène carboné. Trop peu abondant pour être nuisible, ce gaz ne fournit ni aux animaux ni aux végétaux aucun des matériaux nécessaires à leur nutrition et à leur développement.

La présence d'une certaine quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère est indispensable à l'existence des êtres organisés vivant à la surface de la terre. Dans un air complétement privé de vapeur d'eau les plantes ne tarderaient pas à se dessécher complétement et à périr. Cette eau ne reste pas toujours à l'état de vapeur; en se condensant sous forme de pluie, de rosée, elle fournit aux végétaux un des éléments importants de leur constitution; en effet, la charpente d'une plante quelconque peut être représentée par douze molécules de charbon uni à dix molécules d'eau. L'eau est constamment nécessaire au végétal pour suffire à l'évaporation rapide de son immense surface foliacée. La quantité d'eau existant dans l'air est très-variable, mais l'atmosphère n'est jamais complétement saturée; s'il en était autrement, les exhalations aqueuses seraient considérablement modifiées, et il en résulterait une très-fâcheuse influence sur les êtres vivants.

Il nous reste à examiner pour quelle part ces différents gaz entrent dans la composition de l'atmosphère. Les travaux de MM. Dumas et Boussingault ont établi que l'air contient en volume 20,8 d'oxygène et 79,2 d'azote. En rapportant la composition de l'air au poids, les nombres changent vu la densité différente des deux gaz : on trouve ainsi 23 grammes d'oxygène et 77 grammes d'azote. Les prises d'air faites dans les lieux les plus différents, à des hauteurs diverses, ont donné les mêmes résultats à l'analyse, et c'est un fait très-considérable de voir cette constance dans la composition de l'atmosphère. Cependant quelques variations dans des circonstances particulière ont été constatées, et il est facile d'en trouver l'explication. Dans un grand travail sur la composition des gaz dissous par les eaux stagnantes, M. Morren a démontré que sous l'influence de la radiation solaire l'air pris à la surface des flaques d'eau de mer recouvertes d'une végétation fort abondante pouvait contenir jusqu'à 23,67 d'oxygène pour 100. Cette augmentation considérable d'oxygène s'explique parfaitement par la réduction de l'acide carbonique de l'air par les végétaux. Les travaux de M. Morren ont encore établi que les animalcules de couleur verte ou rouge qui apparaissent à la surface des mers et des eaux stagnantes respirent comme des végétaux, l'apparition de ces infusoires doit donc terminer une élévation semblable dans la proportion d'oxygène. Ce fait peut nous aider à nous rendre

Digitized by Google

compte des résultats obtenus par M. Lewy sur la mer du Nord. Au mois de mai, il a trouvé que la composition de l'air à la surface de la mer était en poids de 23,116 d'oxygène pour 100. Au mois d'août suivant, M. Lewy ayant recueilli de l'air en pleine mer, trouva qu'il ne contenait plus que 22,6 pour 100 en poids. Ce dernier résultat s'explique facilement par l'absence à la surface de la mer de ces infusoires qui parfois s'y trouvent en si grande quantité; la couche atmosphérique en contact avec l'eau fournit alors seule la quantité d'oxygène nécessaire à la respiration des animaux qui vivent dans son sein; l'air de mer dans ces circonstances doit se trouver un peu moins riche en oxygène. Du reste, il faut savoir que ces variations sont très-restreintes et toutes locales.

La quantité d'acide carbonique contenue dans l'atmosphère est en proportion variable. Vous trouverez qu'elle varie de 3 à 6 dix-millièmes; la moyenne habituelle est de 4 dix-millièmes. Ici encore, dans quelque lieu que l'on fasse les expériences, on trouve à très-peu près la même proportion. En songeant à la quantité d'acide carbonique que les animaux rejettent dans l'atmosphère, tandis que les végétaux le réduisent sous l'influence de la radiation solaire, on pourrait croire que la proportion d'acide carbonique doit varier sensiblement, suivant les localités, mais la diffusion des gaz s'opère avec tant de rapidité qu'elle maintient l'équilibre dans les différents lieux. Ainsi, MM. Boussingault et Lewy ont démontré que l'air recueilli à Andilly, près Montmorency, contenait 2909 dix-millièmes d'acide carbonique, tandis que l'air pris à Paris le même jour et à la même heure contenait 3190 dix-millièmes d'acide carbonique. La différence est certainement dans le sens où l'on pouvait la prévoir. Mais elle est bien minime et elle surprend quand on considère les conditions si opposées où se trouvent ces deux localités pour la production de l'acide carbonique. Le calcul suivant, dû à M. Boussingault, permet de se rendre compte de la promptitude merveilleuse avec laquelle a lieu la diffusion des gaz. D'après ce savant, la respiration des hommes et des animaux, les foyers de combustion destinés au chauffage et à l'éclairage produisent à Paris 2 944 641 mètres cubes d'acide carbonique par vingt-quatre heures. L'étendue superficielle de Paris est de 34 396 800 mètres carrés (il s'agit ici de Paris avant l'annexion de la banlieue). Si cet acide carbonique était formé instantanément, il occuperait à la surface du sol une couche d'environ un décimètre de hauteur. Dans de telles conditions, l'atmosphère serait bien vite viciée, si des causes diverses ne venaient pas assurer la dissémination des gaz. La force de diffusion est certainement la cause la plus active, mais il faut tenir compte des courants d'air qui balayent les rues, il faut aussi considérer que cette prodigieuse quantité d'acide carbonique est formée lentement et qu'une partie se trouve rejetée par les cheminées dans les régions élevées de l'atmosphère. On s'explique alors comment l'air peut ne pas être vicié sensiblement malgré la persistance des causes locales de formation d'acide carbonique aux dépens de l'oxygène. On peut donc dire que l'air des villes, au point de vue de l'acide carbonique, a sensiblement la même composition que celui des campagnes.

Les variations dans la quantité d'acide carbonique tiennent non pas à la production de ce gaz par les animaux, mais à des causes cosmiques. L'acide carbonique étant très-soluble, la rosée, les pluies d'orage, peuvent en enlever une certaine quantité et diminuer la proportion contenue dans l'atmosphère, tandis que les volcans en rejettent constamment des volumes considérables. C'est à la présence d'une grande quantité d'acide carbonique dans l'air qu'il faut attribuer cette immense végétation antédiluvienne dont les débris ont produit ces dépôts considérables de houille qui se trouvent enfouis dans le sein de la terre.

Reste toujours ce fait considérable que les animaux tendent sans cesse à vicier l'atmosphère par la formation continuelle d'acide carbonique, tandis que les végétaux, pour s'accroître et se développer, décomposent l'acide carbonique sous l'influence de la radiation solaire. Cet antagonisme entre l'animal et le végétal forme un équilibre mobile qui maintient l'intégrité de composition de l'atmosphère. Si cet équilibre venait à se rompre, les animaux pendant de longs siècles trouveraient encore dans l'atmosphère des quantités suffisantes d'oxygène pour leur développement et leurs besoins de nutrition.

Les travaux de Liebig ont démontré que l'eau provenant des pluies d'orage contient de l'azotate d'ammoniaque. La formation de ce sel dans ces circonstances est facile à comprendre. L'eau répandue dans l'atmosphère sous forme de vapeur est décomposée par le passage de l'étincelle électrique; l'hydrogène se combine à l'azote de l'air et forme de l'ammoniaque, tandis que l'oxygène en se combinant également avec l'azote produit de l'acide azotique. L'influence favorable des pluies d'orage sur la végétation se trouve donc facilement expliquée par la présence de ce sel. De son côté, Fresenius, agissant sur des quantités considérables d'air, a démontré qu'il existe normalement de l'ammoniaque dans l'atmosphère. Il résulte de ses recherches que 1 000 000 parties d'air en poids renferment moyennement 0,133 d'ammoniaque. Il suffit de faire attention à la masse immense de l'atmosphère pour admettre que cette quantité d'ammoniaque doit suffire à fournir une grande partie de l'azote nécessaire au développement des végétaux. Comme il arrive pour l'acide carbonique, les pluies, une rosée abondante, font varier la proportion d'ammoniaque.

Il s'échappe constamment des eaux stagnantes un gaz provenant de la décomposition des matières organiques contenues dans les vases; ce gaz, qu'on appelle gaz des marais, est un hydrogène carboné; on le rencontre encore dans les mines de houille, et c'est lui qui donne naissance aux feux follets que l'on observe sur le versant des Apennins. L'atmosphère contient toujours quelques traces d'hydrogène carboné.

Il nous reste à vous parler de la vapeur d'eau qui existe constamment dans l'air, dont la quantité varie suivant la température, les diverses heures du jour et de la nuit, les saisons, les climats, etc. Cette question demande de longs développements; nous nous réservons d'étudier plus tard avec vous le rôle de la vapeur d'eau, les lois de sa répartition et son influence sur les êtres vivants.

Après cette étude de chacun des éléments qui, par leur mélange, constituent l'air atmosphérique, nous devons vous signaler les conditions dans lesquelles peut se produire un autre élément, gaz très-délétère, l'hydrogène sulfuré. M. F. Daniell, dans un beau travail sur l'eau des rivières de la côte occidentale d'Afrique, a parfaitement établi la présence de ce gaz dans l'air; il a étudié en même temps les conditions de sa formation, qui a lieu à l'embouchure des fleuves par le mélange des eaux douces et des eaux salées. La réduction des sulfates en présence des matières organiques contenues

Digitized by Google

dans l'eau de mer, donne naissance à une petite quantité d'acide sulfhydrique qui, d'abord dissous dans l'eau, s'échappe ensuite dans l'atmosphère. Il suffit de se rappeler que 1/1500 d'hydrogène sulfuré mélangé à l'air est toxique pour les petits animaux, pour comprendre l'influence pernicieuse que peut exercer ce gaz. Du reste, ne voyons-nous pas les maladies qui affligent le plus l'humanité, la fièvre jaune, le choléra, la peste, prendre naissance dans les deltas du Mississippi, du Gange et du Nil? Peut-être l'insalubrité de l'air, par la présence d'une petite quantité de ce gaz, est-elle une des causes premières du développement de ces terribles fléaux. Montfalcon, dans ses études sur les marais, a parfaitement établi que, toutes les fois que les eaux salées de la mer faisaient irruption dans les marais d'eau douce, l'état sanitaire des pays environnants changeait considérablement et que de grandes épidémies de fièvres pernicieuses avaient lieu. En présence de ces faits, on est entraîné à se demander si l'intoxication lente par l'hydrogène sulfuré ne joue pas un grand rôle dans la production de ces maladies.

Il n'entre pas dans notre sujet de traiter des causes locales de viciation de l'air, une des plus importantes questions d'hygiène; nous vous rappellerons seulement qu'il ne peut y avoir dans une enceinte fermée une accumulation d'individus sans que l'air soit bien vite vicié indépendamment des miasmes qui se produisent.

Dr E. Morin, préparateur du cours, pharmacien en chef à l'hôpital de Lourcine.

MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE.

PHYSIQUE APPLIQUÉE

COURS DE M. BECQUEREL

(de l'Institut).

Du mélange des gaz. — De l'atmolyse.

Chaque gaz a une élasticité qui lui est propre, en vertu de laquelle il s'étendrait indéfiniment dans l'espace, si rien ne s'opposait aux effets de cette élasticité. Berthollet avait placé dans les caves de l'Observatoire, à l'abri de toute agitation extérieure, deux ballons munis d'armatures de cuivre et communiquant ensemble au moyen d'un robinet : le ballon supérieur était rempli d'hydrogène, le ballon inférieur de gaz acide carbonique, l'un et l'autre à la même pression; quand on fut certain que la température était bien la même dans les deux ballons, on les mit en communication, en ouvrant le robinet, sans les remuer : peu de temps après, en examinant le contenu des ballons, Berthollet put se convaincre que le mélange des deux gaz était complet, bien que la différence de leurs densités soit considérable; et en effet, celle de l'hydrogène est 0,0692 et celle de l'acide carbonique 1,529, c'est-à-dire environ vingt fois plus grande que la première. Ce fait est général, et peut se formuler ainsi : « Lorsqu'on introduit dans le même espace plusieurs gaz élastiques ne réagissant pas l'un sur l'autre, chacun se répand dans toute l'étendue de cet espace, comme s'il était seul, et l'élasticité du mélange est égale à la somme des élasticités de chacun de ces gaz. » Ce principe s'applique également aux vapeurs.

C'est en vertu des faits expliqués précédemment, que la composition de l'air est à peu près la même, quelle que soit la hauteur à laquelle on l'ait puisé. Cependant, dans les localités où les phénomènes de décomposition sont très-puissants, la quantité d'oxygène peut varier, quoique dans de très-faibles limites : il en est de même de l'acide carbonique, dont la quantité, dans les régions inférieures de l'air, diminue pendant le jour et augmente pendant la nuit; mais ce sont là des phénomènes qui dépendent de la végétation. Il résulte de nombreuses analyses de l'air exécutées en 1848 par M. Regnault, que la plus faible quantité d'oxygène trouvée dans l'air est 20,903 pour 100, et la plus grande 20,996. Ces différences sont donc très-faibles. En vertu même de son élasticité, l'air qui entoure la terre se répandrait indéfiniment dans l'espace, si la basse température des régions supérieures de l'atmosphère ne diminuait pas sa force élastique, au point de rendre prépondérante l'action de la pesanteur.

Mouvement moléculaire des gaz au travers des diaphragmes. — Dans un travail très-intéressant, M. Graham s'est occupé du passage des gaz sans pression à travers des parois fixes ou des plaques poreuses, et enfin de la séparation partielle des gaz mélangés. L'appareil dont il s'est servi, ou *diffusimomètre*, se compose d'un tube de verre ayant un peu moins de 25 millimètres de diamètre et 254 millimètres de long; l'une de ses extrémités était fermée par une plaque de plâtre de 8 millimètres d'épaisseur, mais il préfère aujourd'hui la remplacer par une plaque mince de graphite comprimé, tel qu'on l'emploie dans la fabrication des crayons : il donne à ces plaques un demi-millimètre d'épaisseur. Pendant qu'on remplit le tube d'hydrogène sur la cuve à mercure, on empêche les effets de la porosité en appliquant momentanément sur le diaphragme une feuille mince de gutta-percha. Le tube rempli, on enlève la feuille de gutta, et la diffusion s'opère : au bout de 40 à 60 minutes, tout l'hydrogène a disparu, et il est remplacé dans le tube par un certain volume d'air atmosphérique, beaucoup moins considérable (environ un quart) conformément à la loi de diffusion des gaz : le mercure s'élève alors dans le tube de verre, et cette élévation mesure l'intensité de la force avec laquelle s'effectue la pénétration réciproque des différents gaz. Le graphite naturel n'ayant que très-peu ou même pas de porosité, ne peut servir à cet usage; mais on peut employer assez facilement la poterie non vernissée.

M. Graham admet que la force motrice réside dans le mouvement intérieur des molécules; un gaz serait alors constitué par une infinité d'atomes sphériques solides, doués d'une élasticité parfaite, se mouvant dans tous les sens, mais avec des vitesses différentes suivant la nature du gaz : dans un vase fermé, ces particules se meuvent, se heurtent contre les parois, s'entre-choquent sans cesse sans perte de mouvement à cause de leur élasticité parfaite. Si le vase est poreux, les atomes de gaz sont projetés à travers les canaux ouverts et s'échappent : les molécules de l'air agissent de même, mais en sens inverse, et remplacent celles du gaz primitif. Ce mouvement moléculaire est la cause de la force élastique des gaz et du pouvoir qu'ils ont de réagir contre la compression. Il est accéléré par la chaleur et ralenti par le froid. Si les gaz en communication dans l'expérience de Graham sont de nature différente, mais possèdent la même densité et la même vélocité, comme l'azote et l'oxyde de carbone, par exemple, il y a simplement mélange des molécules, sans changement de volume. Si les gaz communicants sont de densités et de

Digitized by Google

vitesses moléculaires différentes, la pénétration réciproque cesse d'être égale dans les deux directions.

Le passage des gaz dans le vide peut s'effectuer de plusieurs manières :

1° Le gaz peut entrer dans l'espace vide, en passant par une seule ouverture, excessivement petite, percée en mince paroi : la rapidité du passage dépend de la densité des gaz, conséquence déduite du théorème bien connu de *Torricelli* sur la vitesse de l'écoulement des fluides. Un gaz se précipite dans le vide avec la vitesse acquise par un corps pesant en tombant de la hauteur d'une atmosphère composée du gaz en question et supposée partout d'une densité uniforme. La hauteur de cette atmosphère est en raison inverse de la densité du gaz : ainsi celle de l'hydrogène sera 16 fois plus haute que celle de l'oxygène. La vitesse d'écoulement des différents gaz est en raison inverse de la racine carrée de leurs densités respectives : celle de l'oxygène étant 1, celle de l'hydrogène sera $\sqrt{16}$. Cette loi a été vérifiée expérimentalement.

La loi d'écoulement des gaz est analogue à celle qui règle la diffusion moléculaire, mais il faut observer que les phénomènes d'écoulement et de diffusion sont tout à fait distincts et de nature différente : c'est le gaz en masse qui participe aux mouvements d'effusion, tandis que dans la diffusion, ce sont les molécules du gaz qui sont affectées par le mouvement. En général la vitesse d'écoulement d'un gaz est plusieurs milliers de fois plus grande que la vitesse de diffusion ; la vitesse d'écoulement de l'air est aussi rapide que celle de translation du son.

2° Si l'orifice d'écoulement est percé en parois plus épaisses et se convertit ainsi en tube, les vitesses d'effusion sont soumises à des perturbations ; il y a cependant un rapport constant entre les vitesses d'écoulement des différents gaz, lorsque le tube capillaire acquiert une longueur considérable, c'est-à-dire lorsque la longueur dépasse au moins 4000 fois le diamètre. Ces nouveaux rapports constituent les lois de la transpiration capillaire des gaz : ces lois sont indépendantes de la nature du tube. Les vitesses de transpiration ne dépendent pas de la densité et sont régulièrement différentes des vitesses d'effusion. Les rapports que l'on a trouvés entre les vitesses de transpiration des différents gaz ne paraissent présenter aucune relation constante avec les autres propriétés connues de ces mêmes gaz. Les tubes capillaires offrent au passage du gaz une résistance analogue à celle due au frottement, en ce sens qu'elle croît proportionnellement avec la surface et augmente par conséquent à mesure que les tubes se multiplient ou diminuent de diamètre, la section totale du passage du gaz restant constante.

3° La plaque de graphite artificiel, dont s'est servi Graham, ne rentre dans aucun des cas précédents : mais quoique paraissant, sous ce rapport, pratiquement impénétrable, elle peut être facilement traversée par l'effet du mouvement moléculaire ou de diffusion des gaz. On le démontre en comparant le temps nécessaire pour le passage de volumes égaux de différents gaz soumis à une pression constante. On avait déjà trouvé les nombres suivants pour le passage à travers un tube de verre capillaire de volumes égaux d'oxygène, d'hydrogène et d'acide carbonique, placés dans les mêmes conditions de pression et de température :

Temps exigé pour la transpiration dans le vide.

Oxygène	1
Acide carbonique	0,72
Hydrogène	0,66

Le passage des mêmes gaz, sous la pression d'une colonne de mercure de 100 millimètres de hauteur, ayant été observé en faisant usage d'une plaque de graphite artificiel de $\frac{1}{3}$ millimètre d'épaisseur, donne les résultats suivants :

Temps exigé pour le passage moléculaire.

Oxygène	1
Acide carbonique	1,1886
Hydrogène	0,2672

On voit que la durée du passage à travers la plaque de graphite ne présente aucune relation avec le temps exigé pour la transpiration capillaire. On peut en quelque sorte comparer le graphite à *un tamis moléculaire*, c'est-à-dire *ne laissant passer que des molécules*. Avec une plaque de stuc, la pénétration des gaz sans pression est très-rapide, et les rapports d'air et d'hydrogène qui passent dans le même temps sont comme les nombres : 1 : 2,891. Ce dernier nombre est intermédiaire entre le volume de transpiration = 2,06 et celui de diffusion = 3,8 ; ce qui prouve que, dans ce cas, l'effet produit est la résultante des deux causes réunies.

De l'atmolyse. — On peut se rendre compte de ce qui arrive à une *séparation partielle d'un mélange de gaz* et de vapeurs de diffusibilités différentes, en permettant à ce mélange de se diffuser à travers une plaque de graphite dans le vide. On donne à cette méthode d'analyse le nom d'*atmolyse*. La séparation est d'autant plus rapide que la pression est plus grande, et elle atteint son maximum lorsqu'on permet au gaz de se diffuser dans un vide presque parfait. Parmi les expériences entreprises à cet égard, une des plus importantes est celle qui est relative à la concentration de l'oxygène de l'air ; une certaine quantité d'air renfermé dans un ballon étant mise en communication avec le vide, au moyen d'une plaque de graphite, l'azote passera plus vite, dans le rapport de 1,0668 : 1, et la proportion d'oxygène devra être plus considérable dans le volume d'air restant dans le ballon. Ces résultats ont été confirmés par cette expérience. Le tube atmolyseur dont on se sert est composé d'un tube étroit, de porcelaine ou de poterie non vernissée, entouré dans son milieu par un tube de verre beaucoup plus large et plus court. Ce tube de verre est fermé avec soin par deux bouchons percés en leur centre pour laisser passer le tube de porcelaine et dont l'un possède une autre ouverture qui permet de mettre en communication avec une machine pneumatique l'espace annulaire compris entre les deux tubes ; on dirige ensuite un courant d'air ou un mélange de gaz à travers le tuyau, et l'on recueille les gaz à mesure qu'ils se dégagent à l'autre extrémité du tuyau ; le mélange de gaz, ainsi atmolysé, a évidemment diminué de volume, de toute la quantité de gaz qui a passé à travers les pores du tuyau de terre ; plus le courant de gaz est lent, plus sera considérable la perte de volume.

Enfin, dans une expérience très-curieuse, M. Sainte-Claire Deville fit passer de l'eau en vapeur à travers un tube de porcelaine non vernissé et dont la température était portée au rouge, il remarqua que l'eau était décom-

posée, l'oxygène se dégageait et l'hydrogène passait à travers les pores de son tube.

Absorption des gaz par les corps poreux. — Les corps poreux ont non-seulement la propriété de laisser passer les liquides et les gaz à travers leurs pores, mais ils ont encore celle d'absorber ces corps en certaines quantités; le noir animal et le charbon pulvérisé possèdent cette propriété au plus haut degré; ces corps agissent de préférence sur les matières odorantes et colorantes : aussi les fait-on souvent servir à la purification des dissolutions salines (le salpêtre par exemple), des sirops de sucre, des huiles, et enfin de l'eau destinée à l'alimentation. La décoloration est souvent immédiate avec le charbon animal pulvérisé; mais une fois qu'il a servi, le charbon perd sa propriété, et l'on ne peut la lui rendre que par une simple calcination qui le convertit alors en charbon brillant à grains serrés; pour y arriver on doit le calciner avec du carbonate de potasse pour détruire les matières organiques qu'il renferme, et le laver ensuite avec beaucoup de soin.

Le charbon de coke se comporte comme le charbon de bois, mais à un degré moindre toutefois. Il possède la propriété d'absorber les gaz simples ou composés, surtout après avoir été plongé rouge dans un bain de mercure. De Saussure a fait à ce sujet un grand nombre d'expériences, il a trouvé qu'à une température de 12 degrés, le charbon de bois absorbe, des différents gaz, autant de fois son volume que l'indiquent les nombres suivants :

Gaz ammoniac	90
Gaz oxygène	9,25
Azote	7,50
Hydrogène	1,75
Acide carbonique	35,00

Le charbon mouillé a un pouvoir absorbant beaucoup moins considérable : ce phénomène d'absorption est toujours accompagné d'un dégagement de chaleur, preuve évidente qu'il y a dans ce cas une véritable condensation des gaz : au contraire le dégagement du gaz absorbé détermine un abaissement de température très-manifeste. Cette propriété d'absorber les gaz appartient à tous les corps poreux. Elle dépend donc essentiellement de la porosité, mais il y a des limites qu'il faut observer, et elle n'existe plus si les pores deviennent ou trop grands ou trop petits; c'est ainsi que le charbon de liége, qui est très-léger, et que le graphite, dont les pores sont extrêmement petits, n'absorbent rien; enfin, si l'on diminue le nombre des pores par un moyen mécanique, une trop grande pulvérisation par exemple, on détruit en même temps la faculté absorbante.

Les mélanges de gaz sont absorbés de la même manière que les corps poreux. Si l'on introduit, dans un gaz simple, un corps poreux déjà saturé d'un autre gaz, ce dernier se trouve en partie déplacé par l'autre; mais toujours la quantité de gaz absorbée est plus grande, si l'on opère sur des gaz mélangés au lieu d'expérimenter sur des gaz simples; ce résultat a été confirmé sur l'hydrogène et l'oxygène, sur l'oxygène et l'acide carbonique.

Les corps poreux paraissent en général absorber certains gaz de préférence à d'autres : c'est ainsi que l'hydrogène se condense de préférence dans les bois et les métaux divisés; les gaz ammoniacaux dans les argiles, les oxydes de fer et le ligneux; chacun sait en effet que le fer se couvre de rouille, l'oxyde de fer formé contient toujours de l'ammoniaque dont il est facile de démontrer la présence. Toutes ces propriétés ont été utilisées comme servant à la désinfection.

Cette question de l'absorption des gaz par les solides est très-importante en ce qu'elle se manifeste tous les jours dans les différents sols; sans les gaz introduits constamment dans la terre, toute végétation serait impossible. Il peut se faire que les jachères aient pour effet d'attendre que le sol ait repris les substances gazeuses qui lui ont été enlevées par les plantes. L'argile, outre qu'elle fournit des alcalis au sol, absorbe aussi constamment de l'eau et des sels ammoniacaux, qu'elle présente aux plantes en temps opportun. On conçoit facilement, d'après cela, pourquoi des terres épuisées par des cultures forcées sont à peu près stériles quand on leur donne des engrais pour la première fois; ces terres commencent par se saturer de gaz ammoniacaux avant que les végétaux aient pu se les assimiler. Cette propriété appartient également à la marne, aux oxydes de fer, ainsi qu'au plâtre; c'est pour cette raison qu'on emploie avec avantage ce dernier pour enlever les émanations ammoniacales que dégagent constamment les fumiers; mais peut-être dans ce cas forme-t-il par double décomposition du sulfate d'ammoniaque ou du carbonate de chaux.

Outre la propriété de condenser les gaz, certains corps poreux possèdent en outre la propriété curieuse de déterminer les combinaisons de certains mélanges gazeux. Dœbereiner observa que si l'on fait arriver dans l'air un jet d'hydrogène sur de la mousse de platine, il y a combinaison de cet hydrogène avec l'oxygène de l'air et par suite formation d'eau : la chaleur dégagée par cette combinaison est même assez intense pour porter au rouge la mousse de platine. Si l'on introduit la mousse de platine dans un mélange de 2 parties d'hydrogène et 1 partie d'oxygène, la combinaison est instantanée et se produit avec une violente détonation.

Le platine en lames très-minces ou en fil assez fin peut produire les mêmes effets, mais avec d'autant plus de facilité que les surfaces de contact sont plus multipliées : c'est ainsi que la feuille de platine n'a aucune action sur le mélange détonnant d'hydrogène et d'oxygène, si on l'a préalablement enroulée sur un tube de verre, tandis que son action est instantanée si on l'a chiffonnée comme une bourre de fusil. Les métaux de la mine de platine agissent comme ce corps. L'or et l'argent réduits en feuilles minces agissent aussi de la même manière, mais à une température de 300 degrés environ. Les métaux ne sont cependant pas les seuls corps qui jouissent de la propriété de déterminer la combinaison de deux gaz par leur simple contact; le charbon, la pierre ponce, la porcelaine, le verre, le cristal de roche, à des températures inférieures à 350 degrés, agissent comme l'éponge de platine.

Il a été impossible jusqu'ici de démontrer l'intervention de l'électricité dans l'action de l'éponge de platine; quant à la nature de cette action, elle paraît due à deux causes principales, à la condensation des gaz, à la surface des corps poreux, et enfin à l'état de cette même surface; cette action de présence a du reste un développement progressif et se manifeste d'abord dans les parties de la masse métallique où les contacts sont les plus multipliés : enfin la chaleur dégagée dans ces points active considérablement la combinaison des gaz mélangés. (Voy., dans le n° 4, la leçon de M. Schoenbein *sur les actions catalytiques.*)

ARMAND DESCAMPS, pharmacien.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE — NUMÉRO 8 — 20 JANVIER 1866

Paris, 19 janvier 1866.

M. Daubrée a présenté à l'Académie des sciences, dans la séance du 8 janvier, des échantillons de pierres météoriques tombées au mois d'août dernier dans le cercle d'Aumale, en Algérie.

M. Niklès, professeur à la Faculté des sciences de Nancy, a envoyé une note relative aux altérations que subissent, le soir, les couleurs des objets sous l'influence des divers modes d'éclairage que nous employons. M. Niklès attribue ces altérations à la présence constante du sodium dans la flamme de nos lampes ou de nos bougies, et il montre que la lumière du magnésium, se comportant exactement comme la lumière solaire, permet d'éviter tous ces inconvénients, et de conserver aux corps, le soir, les couleurs qu'ils ont pendant le jour.

Lundi dernier, 15 janvier, M. Faye a lu un travail sur les irrégularités des mouvements des taches solaires.

M. Fremy a présenté une note de M. Terreil, aide-naturaliste au Muséum d'histoire naturelle, relative à un nouveau mode de séparation du cobalt d'avec le nickel et le manganèse dans les dissolutions salines.

Citons enfin un travail de M. Duchemin, sur un petit *acarus* parasite des abeilles, et qui a été également trouvé sur une plante nommée *Helianthus annuus*. D'après diverses expériences qu'il a exécutées, M. Duchemin pense que cet *acarus* se développe d'abord sur la plante en question, et qu'il ne passe sur les abeilles que lorsque celles-ci vont sucer les sucs de cette plante.

L'Académie des sciences a procédé à l'élection d'un membre dans la section d'anatomie et de zoologie, en remplacement de M. Valenciennes. Étaient présentés : en première ligne, M. Lacaze-Duthiers, professeur au Muséum d'histoire naturelle; en seconde ligne, M. Charles Robin, professeur à la Faculté de médecine de Paris; en troisième ligne, M. Paul Gervais, professeur à la Faculté des sciences de Paris, et en quatrième ligne, M. Camille Dareste, professeur à la Faculté des sciences de Lille. Au premier tour de scrutin, M. Charles Robin a été élu par 34 voix contre 21 données à M. Lacaze-Duthiers.

M. Clausius, dont nous publions aujourd'hui une importante leçon, est actuellement un des physiciens les plus illustres de l'Allemagne ; il est un des créateurs de la théorie dynamique de la chaleur, et c'est en grande partie à ses travaux qu'on doit la détermination de l'équivalent mécanique. L'Académie des sciences l'a élu, l'année dernière, membre correspondant, et il vient tout récemment d'être nommé professeur à l'Institut polytechnique de Vienne.

Les retards nécessités par la préparation des figures nous forcent à remettre au prochain numéro la publication de l'intéressante conférence faite vendredi dernier à la Sorbonne par M. Haton de la Goupillère, sur l'*histoire des machines à vapeur*. E. A.

CONFÉRENCES LIBRES DE ZURICH.

PHYSIQUE.

COURS DE M. R. CLAUSIUS

(correspondant de l'Institut).

De la nature de la chaleur comparée à la lumière et au son.

La question de la nature de la chaleur préoccupe encore un grand nombre de physiciens, et sa solution a une importance très-grande sur le développement ultérieur de la physique; un exposé rapide des points principaux dont il s'agit intéressera peut-être un grand nombre de lecteurs. Naturellement, il ne faut pas s'attendre à voir épuiser complétement ce sujet dans une conférence unique faite devant un public très-varié ; d'ailleurs, la limite imposée par le temps rendait impossible l'examen complet de certaines questions. Ainsi, j'ai été obligé de laisser de côté les phénomènes de la polarisation de la lumière et de la chaleur, et les conclusions qu'on peut en tirer sur la nature des vibrations de l'éther (1). Pour la même raison, je me suis abstenu de parler de la production de la chaleur par des effets mécaniques, et de la production inverse d'effets mécaniques par la chaleur ; pour développer cette partie de la question, il aurait fallu dépasser les limites d'une conférence populaire (2). Mon but a simplement été de donner un aperçu aussi clair que possible de la question, et je prie le lecteur de se placer à ce point de vue pour juger cet exposé. R. C.

Messieurs,

Lorsque nous touchons un corps quelconque, par exemple un morceau de métal, nous lui reconnaissons une propriété

(1) La *Revue des cours scientifiques* publiera prochainement une leçon de M. Matteucci, dans laquelle une partie des phénomènes de l'optique moderne sont examinés sous ce point de vue.

(2) Voyez dans la leçon de M. Cazin, publiée dans le numéro du 27 mai 1865, tout ce qui est relatif à la transformation de la chaleur en travail.

Digitized by Google

invisible à l'œil, et que nous désignons par les mots *chaud* et *froid*. La différence qui existe entre le chaud et le froid est purement relative, en ce sens que par ces mots nous entendons simplement exprimer qu'un corps est ou bien plus chaud ou bien moins chaud que notre main. Dans le premier cas, la chaleur s'écoule du corps dans la main et l'échauffe ; dans le second cas, c'est la chaleur de la main qui passe dans le corps, et nous ressentons l'abaissement de température résultant de cette perte de chaleur.

La chaleur peut aussi passer d'un corps dans un autre sans que ces corps soient en contact immédiat. Lorsque placé devant un foyer nous regardons la flamme, nous sentons très-bien que notre visage s'échauffe sous l'influence du feu. Cet effet ne provient pas de ce que le feu échauffe d'abord les couches d'air qui l'entourent, et qui communiqueraient ensuite la chaleur à notre corps ; la chaleur nous vient directement du feu, elle traverse l'air sans l'échauffer sensiblement. On peut très-facilement s'en convaincre en plaçant brusquement un écran entre le visage et la flamme ; immédiatement la sensation de la chaleur disparaît, quoique l'air qui touche notre figure reste le même.

La manière dont la chaleur se propage dans ce cas s'appelle rayonnement, et, comme nous le verrons plus loin, elle est en rapport intime avec le rayonnement lumineux. C'est le rayonnement seul qui permet à la chaleur du soleil d'arriver sur la terre. La chaleur émise par le soleil se répand de tous les côtés à travers les espaces célestes, sans pour cela subir d'autre affaiblissement que celui qui tient à sa répartition sur des surfaces de plus en plus grandes. Lorsque cette chaleur rencontre sur son chemin un corps qu'elle ne peut traverser, elle en est absorbée en grande partie et l'échauffe peu à peu.

En étudiant de plus près les phénomènes de la nature, on reconnaît qu'en dehors de la sensation qu'elle produit en nous, et qui nous fait apprécier de la manière la plus directe sa présence, la chaleur se manifeste par une foule d'effets très-divers qu'elle exerce sur tous les corps. Je ne citerai ici qu'un seul de ces effets ; il est de la plus grande importance lorsque l'on cherche à déterminer la nature de la chaleur.

Nous divisons les corps en trois grands groupes, selon les trois états différents sous lesquels ils se présentent. Ces trois états d'agrégation sont : l'état solide, l'état liquide et l'état gaseux.

Dans les corps solides, les particules sont adhérentes les unes aux autres, et il faut pour les séparer, pour rompre le corps, employer une force considérable. Ces corps offrent plus ou moins de résistance, même à de simples changements de forme, qui n'exigent pas la séparation complète des parties, mais seulement le déplacement de leurs positions respectives.

Les corps aériformes, c'est-à-dire les gaz, se comportent d'une manière tout opposée. Les particules se repoussent mutuellement, il faut même exercer une force extérieure sur une masse d'air pour lui faire occuper un espace déterminé, car elle a une tendance à occuper un espace de plus en plus grand. On ne saurait objecter à cela que l'air atmosphérique qui nous entoure n'offre pas cette tendance. Il faut, en effet, remarquer que l'air qui avoisine la surface de notre globe a au-dessus de lui une masse d'air très-considérable dont il supporte le poids ; pour se dilater, il faut qu'il soulève ce poids. Lorsque l'on met en communication un vase plein d'air avec un vase vide, on constate très-bien que l'air se précipite dans le vase vide, et cela jusqu'à ce qu'une pression uniforme se soit établie dans les deux vases. Si maintenant on met ces deux vases en communication avec un nouvel espace vide, le même phénomène se répète, et l'on aura beau augmenter le nombre de ces vases vides, jamais on n'atteindra une limite au-delà de laquelle l'air ne pénètre plus dans un nouveau vase vide pour le remplir.

Enfin, l'état liquide est un état intermédiaire entre les deux autres. Les particules liquides ne se repoussent pas, elles continuent à occuper l'espace dans lequel on les a placées ; mais elles ne sont pas adhérentes entre elles au même degré que les molécules des corps solides ; elles glissent facilement les unes sur les autres, de sorte que l'on peut, sans grand effort, mélanger une masse liquide.

Cette différence d'état est un effet, de la chaleur. Un seul et même corps peut, par l'action de la chaleur, passer successivement par ces trois états. Examinons, par exemple l'eau, cette substance dont nous nous servons si souvent. Aux basses températures, elle est solide et forme la glace ; à une certaine température, que nous avons prise comme température initiale pour les échelles de nos thermomètres, la glace se transforme en eau liquide ; enfin, cette même substance peut être réduite en vapeur par l'action de la chaleur. Cette dernière transformation s'opère déjà à de basses températures, mais aux températures élevées elle s'accomplit beaucoup plus rapidement. Ainsi ce que nous appelons ébullition n'est qu'une transformation rapide de l'eau en vapeur, transformation qui produit un véritable bouillonnement dans toute la masse liquide.

Ce que nous constatons pour l'eau, nous pourrions de même le constater pour la plupart des autres substances, avec cette différence que les températures auxquelles ont lieu les changements d'état sont très-variables. Le mercure, par exemple, devient liquide déjà à une température de 40 degrés au-dessous de la température de la fusion de la glace ; les autres métaux, au contraire, exigent pour fondre des températures plus élevées, et une grande partie des métaux ne fond même qu'à des températures excessivement élevées. Ainsi le fer, l'argent et l'or ne fondent que lorsqu'on les chauffe au rouge ou même au blanc. Quant au platine, les températures les plus élevées que nous puissions produire dans nos hauts-fourneaux ne suffisent pas pour le fondre complétement, il se ramollit seulement, et c'est dans cet état qu'on le travaille. Mais dans la flamme du gaz détonant, obtenue en brûlant de l'hydrogène avec de l'oxygène pur, on peut fondre complétement le platine ; il fond de même dans la chaleur développée par un courant électrique. Les métaux qui accompagnent le platine, et parmi lesquels nous citerons surtout l'alliage d'osmium et d'iridium, fondent encore plus difficilement que le platine, et cependant on ne saurait douter de leur fusibilité.

La fusion du carbone a présenté de grandes difficultés. Tous les moyens dont on disposait autrefois pour produire des températures élevées s'étaient montrés insuffisants pour fondre ce corps. Aujourd'hui nous employons le carbone à produire la lumière électrique et cette lumière est accompagnée du développement de chaleur le plus considérable qu'il nous soit possible d'obtenir artificiellement.

Un physicien français, M. Despretz, a été conduit par l'étude attentive de ce phénomène à faire quelques recherches qui lui ont prouvé que les fragments de charbon à travers lesquels passe le courant électrique présentent des traces de fusion ; il a observé dans cette circonstance d'autres phéno-

Digitized by Google

mènes dont il a pu tirer des conclusions très-importantes.

On sait que le carbone se présente sous différents états solides. Ainsi, la plus recherchée de nos pierres précieuses, le diamant, n'est que du carbone pur cristallisé. M. Despretz a été conduit par une série d'expériences préliminaires à monter un appareil dans lequel un courant d'induction passait pendant un temps très-long d'un crayon de charbon sur un faisceau de fils de platine et cela dans le vide. Il vit alors se déposer sur les fils de platine une poudre noire dans laquelle il put découvrir, à l'aide du microscope, quelques cristaux de diamant. On reconnut aussi que cette poudre mêlée avec un peu d'huile peut servir à polir des rubis, ce qui tend à prouver que la partie la plus fine de cette poudre est de la poussière de diamant. Quoique les diamants ainsi obtenus fussent trop petits pour avoir une valeur quelconque, cette expérience, par laquelle on a réussi pour la première fois à transformer du carbone en diamant est très-digne de remarque; elle a, du reste, un intérêt particulier pour le sujet qui nous occupe, car ce passage du carbone de l'état amorphe à l'état cristallin nous permet de supposer que dans cette expérience le carbone a été gazeux avant de prendre une forme cristalline.

D'autres corps présentent de grandes difficultés à être amenés dans les trois états dont nous parlons; parmi eux, nous trouvons surtout des liquides qu'on n'est pas encore parvenu à rendre solides. Mais cette difficulté tient uniquement à l'impossibilité dans laquelle nous sommes de produire des températures assez basses. L'alcool nous en offre un exemple frappant. Ce liquide a jusqu'ici remplacé le mercure dans les thermomètres qui ont servi à mesurer les températures les plus basses que nous ayons réussi à produire et qui dépassent 100 degrés au-dessous du point de congélation de l'eau. L'alcool reste liquide à cette température; cependant M. Despretz a réussi, par différents moyens, à produire un froid tel que l'alcool lui-même commençait à geler.

J'ajouterai que la plupart des corps qui sont ordinairement à l'état gazeux, peuvent être amenés à l'état liquide et à l'état solide; ici encore l'abaissement de température est la cause agissante. On me permettra donc de conclure que si nous disposions de moyens convenables pour produire des températures élevées et des températures basses d'une manière tout à fait illimitée, nous pourrions faire passer tous les corps connus par les trois états d'agrégation.

Demandons-nous maintenant, sans nous occuper davantage des autres effets de la chaleur, comment nous devons nous figurer cette chaleur qui est capable de produire de si grands effets sur l'état de tous les corps.

La mythologie des différents peuples nous apprend comment, en présence des phénomènes de la nature, les hommes encore à l'état d'enfance sentaient le besoin d'imaginer, pour chaque effet qu'ils observaient, une personne spéciale chargée de la produire. C'est ainsi que prirent naissance les dieux du soleil, de la lune, des vents, de la mer et même les dieux de tel ou tel fleuve ou rivière isolée.

Cette même conception se présente sous une nouvelle forme dans la science lorsque déjà elle a pris des développements considérables. On attribue les différents effets que l'on observe, non plus à des personnes, mais à certains fluides de nature particulière. C'est ainsi qu'on a imaginé un fluide lumineux, un fluide calorifique, deux fluides électriques différents et fluides magnétiques, — et chacun de ces fluides avait ses propriétés particulières.

De même que le développement des sciences naturelles avait fait disparaître les personnes qui réglaient à volonté l'apparition des phénomènes et fait voir que tous les phénomènes sont soumis à des lois invariables et nécessaires, de même de nouveaux progrès dans les sciences naturelles ont démontré l'inutilité de ces fluides introduits mal à propos dans leur domaine. Il a fallu les combattre afin de ramener à quelques principes fondamentaux l'ensemble des lois si variées de la nature. Et le combat n'est pas encore terminé.

C'est le fluide lumineux qui jusqu'ici a été combattu avec le plus de succès.

On croyait autrefois que les corps lumineux, le soleil, par exemple, émettent une matière particulière très-diluée qui se meut avec une extrême rapidité à travers l'espace vide et qui par suite de sa grande ténuité peut traverser une foule de substances liquides et solides. Lorsque cette matière pénètre dans notre œil, elle y produit la sensation que nous appelons lumière. A mesure que l'on apprit à connaître mieux les lois de la propagation de la lumière, on se fit des idées de plus en plus nettes sur la nature de cette matière. Le célèbre philosophe Descartes émit, dans la première moitié du XVIIe siècle, l'opinion que la matière lumineuse consiste en petites balles. Lorsque ces balles viennent heurter la surface d'un corps dense, elles rebondissent en partie comme des balles élastiques lancées contre un mur solide; c'est ainsi que s'expliquent les lois de la réflexion. Les balles qui pénètrent au contraire dans le corps dense subissent, d'après Descartes, un changement de direction sous l'influence exercée sur elles par la matière du corps: c'est ce changement de direction qui se manifeste par la réfraction de la lumière. De plus, pour expliquer les couleurs qui accompagnent la réfraction, Descartes admet que les balles sont animées d'un mouvement alternatif de rotation.

Déjà en 1690, le naturaliste hollandais Huyghens opposa à cette hypothèse la véritable théorie.

Huyghens part de la comparaison de la lumière et du son. Lorsqu'un corps vibrant, une cloche ou une corde, par exemple, se trouve dans l'air, les couches d'air qui l'environnent sont mises en mouvement et les vibrations se propagent ainsi de couche en couche. Lorsqu'en un point quelconque de la surface d'une eau tranquille on rompt l'équilibre des molécules d'eau en y projetant une pierre, des ondes prennent naissance et se propagent suivant une série de cercles à partir de ce point; de même aussi dans l'air des ondes sphériques se propagent concentriquement à partir du corps vibrant; les renflements et les dépressions que l'on remarque à la surface de l'eau sont remplacés dans l'air par des couches alternativement condensées et dilatées. Lorsque ces ondes pénètrent dans notre oreille, elles ébranlent la membrane du tympan et lui font exécuter des vibrations correspondant aux vibrations du corps sonore qui a donné naissance aux ondes; c'est ainsi que nous percevons la sensation du son.

De même, un corps lumineux émet des ondes; ces ondes ne se produisent pas dans l'air mais dans une substance infiniment plus ténue que l'air et qui porte le nom d'*éther*. Cet éther pénètre tous les corps et ne se trouve pas seulement dans le voisinage de la terre comme l'air qui y est retenu par la pesanteur; il remplit l'univers entier. Lorsque les ondes provenant d'un corps lumineux et se propageant dans

Digitized by Google

l'éther rencontrent sur leur chemin notre œil, elles en traversent les parties transparentes et viennent finalement frapper les fibres nerveuses de notre rétine et produire sur elles un effet que nous percevons comme sensation lumineuse. Dans cette théorie, le mot de rayon lumineux ne représente plus une chose matérielle, il ne désigne plus que la direction dans laquelle se meuvent les ondes.

Cette manière de concevoir la nature de la lumière a permis à Huyghens d'expliquer avec la plus grande netteté un grand nombre des propriétés de la lumière ; c'est ainsi qu'il a expliqué les lois de la réflexion et de la réfraction qui reposent sur des principes complétement différents de ceux que Descartes avait admis. Il a même donné l'explication réelle des phénomènes plus compliqués de la double réfraction dans les cristaux, phénomènes qu'on ne connaissait alors que pour le spath d'Islande.

On croira peut-être qu'il suffit d'exposer la bonne théorie pour la voir adoptée avec enthousiasme par tous les physiciens et développée par les efforts réunis de tous. Ce n'est pas là ce qui arriva.

Huyghens eut le malheur de trouver un adversaire puissant. Le grand naturaliste anglais Newton, qui le premier a ramené le mouvement des astres à des principes mécaniques simples, s'occupait aussi beaucoup d'optique ; il a même fait un grand nombre de découvertes importantes dans cette branche de la physique. Naturellement Newton n'était pas homme à se contenter de la simple observation des phénomènes; il en chercha l'explication. Il ne partit pas de la théorie nouvellement créée ; il accepta la théorie ancienne, et par cela il fit un tort immense à la science, un tort qu'un homme de génie seul pouvait rendre aussi grand. Entre ses mains, la fausse théorie elle-même donnait de si bons résultats, et là où elle ne pouvait suffire il savait la compléter par des hypothèses si ingénieuses, que tous les autres physiciens s'en contentèrent et ne virent pas de raison pour l'abandonner. Des chercheurs isolés, tels qu'Euler, eurent beau la combattre, elle restait inébranlable.

Nous trouvons dans ce fait un exemple remarquable de l'influence que l'*autorité* exerce jusque dans la science, qui pourtant se fait gloire de ne rien admettre sur l'autorité d'un nom. Cet homme-là a retardé de plus d'un siècle l'admission d'une théorie juste et importante. Ce n'est que dans notre siècle qu'elle a été admise par tout le monde, et maintenant elle restera pour toujours acquise à la science.

Cette théorie, à laquelle les petites ondes qui constituent la lumière ont fait donner le nom de théorie des ondulations, nous amène à comparer les divers phénomènes que présente la lumière avec les phénomènes analogues du son.

On a souvent occasion d'observer que le son met un certain temps à se propager à travers l'air. Lorsqu'on fait partir à une certaine distance de nous une arme à feu, un canon, nous voyons d'abord la flamme de la poudre, et un instant après nous entendons la détonation. L'éclair et le tonnerre se produisent au même instant, et cependant nous les percevons à des intervalles de temps souvent considérables, et dont la durée dépend de la distance à laquelle nous nous trouvons de l'orage. La nature même du tonnerre, ce long roulement, doit s'expliquer par la même cause. Il est hors de doute que le tonnerre en lui-même est une détonation assez courte; cette détonation ne se produit pas en un seul point, mais sur toute la longueur de l'éclair, et comme les différentes parties de l'éclair sont inégalement éloignées, nous entendons d'abord la détonation provenant de la partie la plus voisine de nous, et nous n'entendons que peu à peu les détonations provenant des parties plus éloignées. A cette première cause, il faut, sans doute, ajouter les réflexions du son, qui, surtout dans les pays montagneux, contribuent à prolonger le roulement du tonnerre.

Nous avons parlé tout à l'heure de l'intervalle de temps quel'on observe entre le départ du coup et l'arrivée du son en un endroit quelconque; nous trouvons là un moyen très-commode de déterminer la vitesse de propagation du son. Parmi les expériences les plus importantes qui ont été faites sur ce sujet, on remarque surtout celles qui ont été exécutées, en 1822, dans les environs de Paris, par un grand nombre de physiciens très-distingués, parmi lesquels se trouvaient entre autres Arago et Humboldt. On fit établir deux batteries sur deux hauteurs distantes à peu près de 2 ½ milles géographiques. A cette distance, il était possible, pendant la nuit, de voir la flamme du canon et d'en entendre le bruit lorsque tout était tranquille. A chacune des deux stations, se trouvaient, entre les artilleurs chargés de servir la pièce, trois physiciens munis chacun d'une montre à secondes. On était convenu de faire partir, de cinq minutes en cinq minutes, un coup de canon alternativement des deux stations. Un signal indiquait aux observateurs le commencement des expériences. Ils étaient ainsi prévenus du moment du départ de la pièce, et pouvaient, par conséquent, concentrer toute leur attention sur ce moment. Chacun d'eux observait isolément le temps qui s'écoulait entre l'apparition de la lumière et l'arrivée du son. Comme cet intervalle comportait près d'une minute, les observations purent être faites avec une rigueur suffisante (1). En comparant les nombres inscrits par les différents observateurs pour une série de douze coups, on détermina une moyenne, qui donna pour la vitesse du son réduite à la température 0 degré, 333 mètres par seconde, vitesse qui correspond à peu près à la vitesse d'une balle lancée par un fusil ordinaire.

Le son se propage dans les autres corps comme dans l'atmosphère, mais sa vitesse de propagation varie avec la nature de la substance. Si nous nous bornons à comparer entre eux les corps gazeux, nous trouvons que pour ces corps la vitesse de propagation du son est d'autant plus grande que le gaz est plus léger. Le gaz le plus léger que nous connaissions est l'hydrogène, et le son se propage dans ce gaz avec une vitesse presque quatre fois plus grande que dans l'air atmosphérique.

La détermination de la vitesse de la lumière fut bien plus difficile que celle du son. La lumière se propage avec une rapidité si étonnante qu'elle paraît franchir instantanément les plus grandes distances de notre globe. En astronomie, on opère sur des distances incomparablement plus grandes que celles que nous pouvons prendre sur la surface de la terre. Or, il arriva qu'on observa des phénomènes qui sont complétement inexplicables, si l'on n'admet pas que la lumière met un temps appréciable à franchir ces distances. Je n'ai nullement l'intention d'insister sur la manière dont on a été conduit la première fois à cette observation, ni sur la manière dont on a fait la détermination. Je désire seulement rappeler

(1) M. Regnault a fait sur ce sujet un grand nombre d'expériences encore inédites. La manière ingénieuse dont cet illustre physicien a disposé ses expériences élimine toutes les erreurs provenant de l'observateur. C'est l'électricité qu'il a chargée du soin d'enregistrer le départ du coup et l'arrivée du son à une distance quelconque (Feltz).

Digitized by Google

à votre souvenir le résultat auquel on est arrivé, et que tout le monde connaît à cause de sa grandeur étonnante. La lumière parcourt en une seconde un espace de 42 000 milles géographiques, c'est-à-dire un chemin à peu près huit fois plus grand que la circonférence de toute notre terre.

A une époque plus récente, deux physiciens français, MM. Fizeau et Foucault, employant des appareils perfectionnés, ont réussi non-seulement à constater, mais à déterminer la vitesse de la lumière pour les distances que nous avons à notre disposition sur la surface de la terre et même dans une chambre; les résultats de leurs déterminations s'accordent très-bien avec le résultat fourni par les observations astronomiques.

La connaissance de la vitesse de la lumière est importante, même en dehors de l'intérêt qu'elle a en elle-même; en la comparant avec la vitesse de propagation du son, nous pouvons nous faire une idée de la ténuité de l'éther qui propage la lumière, comparativement à celle de l'air qui propage le son.

L'analogie des couleurs et des sons nous donne un autre moyen de comparer la nature du son et de la lumière.

Les différences de hauteur que nous constatons en comparant différents sons reposent, comme on sait, sur la plus ou moins grande longueur des ondes qui les produisent, ce qui fait que ces ondes se succèdent plus ou moins rapidement. Plus il entre d'ondes sonores dans un temps déterminé, pendant une seconde, par exemple, dans notre oreille pour mettre en mouvement notre tympan, plus le son produit nous paraît haut. On peut s'en convaincre de différentes manières et déterminer, par la même occasion, le nombre de vibrations correspondant à chaque son isolé.

Un corps vibrant dans l'air engendre, par chacune de ses vibrations, une onde sonore qui se propage dans l'air avec une vitesse égale dans les différentes directions. Si, à une certaine distance de ce corps se trouve un observateur, son oreille reçoit dans une seconde autant d'ondes que le corps fait de vibrations. On peut donc dire que le nombre de vibrations que fait un corps est égal au nombre de vibrations du son produit. Examinons un instant une corde en mouvement, un examen tant soit peu attentif nous permettra de constater quelles sont les circonstances dont dépend le nombre de ses vibrations. Ce sont la densité, la longueur et la tension de la corde. On peut augmenter le nombre de vibrations exécutées par une corde, c'est-à-dire élever le son qu'elle produit, soit en raccourcissant la corde, comme on le fait en jouant du violon, soit en la tendant davantage. Les lois qui régissent les vibrations des ondes sont établies mathématiquement; on peut donc, lorsque, outre la longueur et le poids de la corde, on connaît la force qui la tend, calculer le nombre de vibrations que doit faire cette corde et, par suite, déterminer le son qu'elle est capable de rendre; en comparant ce son à d'autres sons produits par des instruments de musique connus, il est facile d'exprimer sa hauteur en notes.

On a construit, dans ce but, une série d'instruments qui portent le nom de sirènes, et qui nous font parfaitement saisir la manière dont se passent ces phénomènes. Il y en a de plusieurs espèces; je ne parlerai ici que de la plus simple. Un disque de carton de un à deux pieds de diamètre, porte sur une circonférence concentrique au bord extérieur, une série de trous qui peuvent avoir de deux à trois lignes de diamètre, et qui se suivent à des distances telles, que l'espace compris entre deux trous est à peu près aussi grand que le diamètre même de ces trous. Ce disque est fixé par son centre sur un axe qui permet de lui imprimer un mouvement de rotation très-rapide. Un petit tuyau, disposé de manière à se trouver toujours vis-à-vis d'un point quelconque de la circonférence qui porte les trous, présente son ouverture à l'un de ces trous. Lorsque nous ferons tourner le disque sans déplacer le tube, nous verrons évidemment les parties pleines et les trous passer alternativement devant ce tuyau. Soufflons maintenant dans le tuyau, l'air s'échappera chaque fois qu'un trou passera devant l'ouverture du tuyau; chaque fois qu'il se trouvera, au contraire, une partie pleine devant le tuyau, l'air sera arrêté par le disque de carton. Ainsi, l'air qui se trouve du côté opposé au tuyau éprouve un ébranlement chaque fois qu'un trou passe devant le tuyau. Chacun de ces ébranlements donne naissance à une onde d'air condensé, et l'ensemble de ces ondes forme un son lorsqu'elles se succèdent assez rapidement.

Lorsqu'on souffle dans le tuyau de cet instrument en faisant tourner le disque, d'abord très-lentement, ensuite de plus en plus vite, on commence par entendre un simple bruit, qui devient alternativement plus fort et plus faible. Peu à peu ce bruit se transforme en bourdonnements; les ébranlements de l'air se succèdent avec une certaine rapidité, mais on peut encore les distinguer isolément. Un peu plus tard, on commence à percevoir un son continu très-bas, qui accompagne faiblement le bourdonnement; mais bientôt ce son domine le bourdonnement et continue à s'élever de plus en plus, à mesure que la vitesse de rotation augmente. Lorsque le son a atteint une certaine hauteur qu'on peut déterminer musicalement, on maintient la vitesse de rotation à peu près constante pendant un certain temps. Le nombre de tours faits par seconde et le nombre de trous qui se trouvent sur la plaque permettent de calculer très-facilement le nombre de vibrations ainsi produites par seconde.

On a déterminé par des méthodes analogues, avec une grande exactitude, le nombre de vibrations correspondant à chaque son isolé. Ainsi, par exemple, le la^3, le son rendu par le diapason, fait 870 vibrations par seconde.

On a de même déterminé dans quel rapport les nombres de vibrations de deux sons doivent se trouver pour produire un certain intervalle, par exemple, une tierce, une quinte ou une octave. Grâce à ces rapports, on peut, dès qu'on connaît le nombre de vibrations que fait un corps pour un son déterminé, calculer les nombres correspondants de tous les autres sons. Si nous étudions les sons d'une gamme diatonique partant d'un son fondamental quelconque, et si nous choisissons pour unité le temps que le son fondamental met à exécuter 24 vibrations, nous reconnaîtrons que pendant ce même temps la seconde en fait 27, la tierce 30, la quarte 32, la quinte 36, la sixte 40, la septième 45 et l'octave 48.

Ainsi, l'octave fait justement un nombre de vibrations deux fois plus grand que le son fondamental. Si nous prenons, par exemple, pour son fondamental le la^3 qui fait 870 vibrations par seconde, nous trouvons que son octave la^4 en fait 1740 pendant le même temps. Si l'on remonte davantage l'échelle des sons, on voit que dans la gamme suivante les nombres de vibrations se suivent dans les mêmes rapports que dans la première; il en est de même pour toutes les gammes partant d'un son fondamental quelconque.

Notre oreille, surtout lorsqu'elle est habituée à la musique,

Digitized by Google

jouit d'une finesse réellement merveilleuse dans l'appréciation des nombres de vibrations de deux sons différents.

Le physicien A. Seebeck, qui s'est beaucoup occupé d'acoustique, avait deux diapasons dont il avait déterminé scientifiquement le nombre de vibrations; pendant que l'un d'eux faisait 1200 vibrations, l'autre en faisait 1201; cet intervalle exprimé en langage musical comporte un quinzième de comma. Seebeck distinguait lui-même l'un de ces sons de l'autre, et deux musiciens, auxquels il les fit entendre, n'hésitèrent pas un instant à déclarer que les deux sons différaient, et ils indiquèrent lequel des deux était le plus élevé.

Les différences que nous constatons entre les divers sons se retrouvent pour les différentes couleurs que prend la lumière. De la lumière rouge et de la lumière bleue ne diffèrent que parce que dans l'une les vibrations s'exécutent plus rapidement que dans l'autre.

La lumière blanche, telle qu'elle nous vient du soleil ou d'une flamme éclairante, n'est pas de la lumière simple; elle est au contraire un mélange de toutes les couleurs possibles. On peut faire pénétrer par une ouverture étroite un faisceau de lumière dans une chambre obscure et le décomposer en ses couleurs constituantes; il suffit pour cela de le faire passer à travers un prisme de verre qui jouit de la propriété d'étaler les couleurs, de sorte qu'au sortir du prisme le rayon, au lieu d'aller éclairer un espace très-limité, produit une très-belle image colorée et agrandie. Je n'ai pas besoin d'insister sur la description du phénomène qui se produit dans cette expérience, car nous avons tous pu observer dans la nature elle-même un phénomène analogue, l'arc-en-ciel. Lorsque le soleil se mire dans les gouttes de pluie, ses rayons se réfractent; les différences de réfrangibilité des diverses couleurs produisent leur séparation et nous les font voir isolées. Les couleurs se suivent dans le même ordre que les nombres de vibrations qui leur correspondent. La lumière rouge, qui fait les oscillations les plus lentes, occupe le bord extérieur; après le rouge se succèdent l'orangé, le jaune, le vert, le bleu, le bleu plus foncé qu'on appelle indigo, et enfin le violet. Lorsqu'on produit le spectre solaire dans des conditions convenables, on aperçoit encore au delà du violet une faible lumière à peine visible.

On peut comparer la série des couleurs de l'arc-en-ciel avec les sons d'une gamme; mais il faut remarquer que les couleurs ne sont pas nettement délimitées; elles se fondent les unes dans les autres. Les positions respectives des différentes couleurs dans une pareille gamme se déterminent facilement d'après les nombres de vibrations qui leur correspondent. Si nous prenons comme son fondamental le rouge extrême, le jaune tombe un peu en deçà de la tierce mineure; le vert répond à la tierce majeure; le bleu à la quarte; le violet à la quinte; le violet extrême qu'on distingue encore nettement correspond à la sixte mineure. Si l'intervalle occupé par les couleurs possibles est si petit, c'est, comme nous le verrons un peu plus loin, parce que la perception de notre œil est trop limitée.

Quoique nous constations entre la nature des couleurs et celle des sons une complète analogie, il y a néanmoins une différence essentielle entre la manière dont se fait leur perception. Lorsque nous entendons en même temps deux sons, nous les reconnaissons tous les deux, nous les distinguons l'un de l'autre, et ils forment pour nous soit une consonnance, soit une dissonance. Si, au contraire, deux points différents de l'espace envoient de la lumière de deux couleurs différentes dans notre œil, nous ne reconnaissons plus les deux couleurs isolées; ainsi, par exemple, quand nous mélangeons parfaitement deux matières colorantes, nous ne voyons plus qu'une seule couleur différente de chacune des couleurs composantes. Du rouge et du jaune ainsi mélangés forment de l'orangé, et il nous est à peu près toujours impossible de distinguer, d'après le simple aspect et sans employer des moyens optiques, si un orangé quelconque est, ou bien de l'orangé homogène, ou bien un mélange de rouge et de jaune. Les deux couleurs se comportent ensemble à peu près comme si les deux sons *ut* et *mi*, entendus en même temps, se réunissaient pour former le son intermédiaire *ré*.

Cette manière d'agir de plusieurs couleurs réunies nous permet de concevoir comment la lumière blanche qui est une réunion de toutes les couleurs peut cependant produire une sensation nette et claire, absolument comme une couleur isolée. Nous savons, au contraire, qu'un bruit dans lequel s'entrecroisent tous les sons possibles a quelque chose d'abasourdissant qu'on ne saurait comparer à l'effet produit par un son unique.

Si nous nous demandons, comme nous l'avons fait pour le son, quel est le nombre des vibrations correspondant à une couleur déterminée, nous arrivons à un résultat étonnant. Nous trouvons ici deux circonstances qui agissent dans le même sens : la grande vitesse avec laquelle la lumière se propage dans l'espace et la petitesse des ondes lumineuses isolées. Ces deux circonstances contribuent à rendre excessivement considérable le nombre des ondes lumineuses qui pénètrent dans notre œil pendant la durée d'une seconde. Ici on ne compte plus par milliers ni même par millions; les vibrations ne se comptent que par billions. Le rouge extrême, qui vibre le plus lentement, fait 480 billions de vibrations par seconde. Ces nombres, à cause de leur grandeur même, sont peut-être de nature à élever quelques doutes dans votre esprit, et cependant, à part quelques erreurs comparativement très-petites dont ils peuvent être entachés, on peut les regarder comme exacts.

Revenons maintenant à la chaleur.

Dans les premières époques de la science, on n'a pas toujours distingué nettement le feu de la chaleur; on a même regardé le feu comme une substance particulière. Aristote admit comme ses prédécesseurs que tous les corps sont formés de quatre éléments parmi lesquels le feu occupe la première place. Ces éléments étaient : le feu, l'eau, l'air et la terre.

Cette division disparut de la science lorsque la chimie commença à examiner de plus près la nature des corps. Cependant nous voyons reparaître plus tard l'idée de considérer le feu comme une substance particulière. Pendant le XVIIe et le XVIIIe siècle, cette idée prit corps dans la science, et le phlogistique (de φλογίζειν, brûler), c'est ainsi qu'on appela cette substance, jouit de propriétés bien définies et joua un rôle important dans l'histoire de la chimie. Ce n'est que dans la seconde moitié du dernier siècle que Lavoisier montra que la combustion n'est autre chose que la combinaison chimique du corps brûlant avec l'oxygène contenu dans l'air atmosphérique. Le développement de chaleur dans la flamme n'est qu'un phénomène accessoire dépendant de la réaction chimique.

Nous pouvons donc considérer la chaleur comme complète-

Digitized by Google

ment distincte du feu qui nous sert de source de chaleur.

Si nous comparons la chaleur rayonnante à la lumière, nous constatons immédiatement entre elles une différence essentielle, qui semble donner plus de poids à l'hypothèse d'un fluide calorifique qu'à celle d'un fluide lumineux.

Imaginons un faisceau de rayons lumineux tombant sur un corps opaque; une partie de la lumière se réfléchira sur la surface extérieure, et s'éloignera de nouveau à l'état de rayons lumineux, se propageant dans une autre direction. La partie non réfléchie et qui d'ordinaire est même la plus considérable, disparaît au moins en tant que lumière. On dit bien que le corps a absorbé la lumière, mais on ne peut dire qu'après cette absorption, il se trouve de la lumière dans le corps. La lumière ne se laisse pas emmagasiner et conserver.

Il en est tout autrement de la chaleur. Lorsque des rayons calorifiques, par exemple les rayons du soleil, tombent sur un corps, ils ne se réfléchissent qu'en partie, mais la partie restante n'est pas perdue. On peut se convaincre par le toucher et par le thermomètre, que le corps s'échauffe peu à peu sous l'action des rayons calorifiques. Ainsi, après l'absorption, il existe réellement de la chaleur dans le corps, et cette chaleur se comporte absolument comme le ferait une substance qui aurait pénétré dans le corps, et qui serait retenue par l'attraction.

Cette différence peut nous conduire à admettre que si la lumière consiste réellement en vibrations de l'éther, la chaleur n'en est pas moins quelque chose de tout différent. On pourrait s'imaginer que le soleil, tout en mettant en vibration l'éther qui l'environne, émet en même temps une matière particulière parcourant les espaces célestes à côté des ondes lumineuses, sans toutefois avoir le moindre rapport avec elles.

Mais cette hypothèse serait contraire à la grande analogie que les rayons lumineux et calorifiques présentent sous une foule d'autres rapports.

Les rayons lumineux et les rayons calorifiques traversent, outre les corps gazeux, certains corps solides ou liquides, par exemple le verre. En passant d'une de ces substances dans l'autre, ils subissent une réfraction, et cette réfraction suit les mêmes lois pour les deux espèces de rayons. On peut s'en convaincre facilement à l'aide d'un petit instrument très-simple et bien connu, je veux parler du verre ardent. Lorsqu'on fait tomber des rayons solaires perpendiculairement à la surface d'un pareil verre, on voit apparaître de l'autre côté de la lentille un petit espace fortement éclairé, parce que tous les rayons lumineux qui tombent sur le verre se réunissent en un seul point, par l'effet de la réfraction. Si nous plaçons maintenant dans cet espace brillant un corps susceptible d'éprouver un changement appréciable sous l'influence de la chaleur, nous reconnaîtrons immédiatement qu'il s'y produit aussi un grand développement de chaleur; d'où le nom de verre ardent donné à cette lentille. Ainsi les rayons calorifiques sont réfractés en même temps, et de la même manière que les rayons lumineux.

Les deux espèces de rayons calorifiques et lumineux sont réfléchis par des surfaces polies, par exemple par des plaques de métal polies, et la réflexion suit dans les deux cas la même loi. Les miroirs ardents nous en offrent une preuve manifeste; quoiqu'ils ne soient employés qu'à réfléchir de la chaleur, ils sont construits d'après les lois de la réflexion de la lumière.

Lorsque les corps sur lesquels tombent les rayons ne sont pas polis, la réflexion se fait irrégulièrement, on dit alors qu'elle est diffuse, et il est impossible dans ce cas, de déterminer la loi qui règle le changement de direction des rayons. On peut cependant observer l'intensité de la réflexion. Les corps qui réfléchissent beaucoup de lumière nous paraissent brillants, et ceux qui n'en réfléchissent que peu sont obscurs. On observe la même différence pour les rayons calorifiques que nous envoie le soleil. Il suffit d'exposer un corps noir et un corps blanc au soleil, pour constater immédiatement que le corps blanc ne s'échauffe pas aussi rapidement que le corps noir, parce qu'il réfléchit une plus grande proportion de rayons calorifiques. On a souvent fait cette remarque sur la neige en hiver. La neige qui couvre nos champs est blanche, et résiste à l'action des rayons calorifiques du soleil, tandis qu'on la voit fondre très-vite dans nos rues, où elle devient sale et par suite grise

On me dira peut-être que toutes ces coïncidences sont fortuites; mais dans ces derniers temps on a découvert une foule d'autres analogies qui rendent complétement impossible cette nouvelle objection.

On a mis à profit les phénomènes thermo-électriques, pour construire une espèce de thermomètre qu'on appelle thermo-multiplicateur ou pile thermo-électrique, et qui jouit d'une sensibilité infiniment plus grande que les thermomètres ordinaires. A l'aide de cet instrument, on est parvenu à trouver à la chaleur rayonnante des propriétés dont on n'avait eu aucune idée jusque-là. Le savant physicien italien, Melloni, a contribué le plus à ouvrir à la science ce nouveau champ de recherches.

Avant Melloni on n'appréciait que la quantité des rayons calorifiques, selon qu'ils échauffaient plus ou moins un corps. Quant à des différences qualitatives, analogues à celles que les couleurs nous permettent de constater entre les divers rayons lumineux, on possédait à peine quelques indications isolées, dont il était impossible de rien tirer. Les recherches de Melloni nous ont, au contraire, prouvé que pour la chaleur il existe des couleurs différentes, absolument comme pour la lumière; les couleurs de la chaleur présentent même une plus grande variété.

Il me suffira de citer un exemple à l'appui de ce que je viens d'énoncer.

Lorsque l'on fait passer de la lumière blanche à travers un verre coloré, celui-ci laisse passer certaines des couleurs contenues dans la lumière blanche, et en absorbe, au contraire, certaines autres. Il en résulte que la lumière qui a traversé le verre est avant tout moins intense, et, de plus, elle est colorée. Ainsi un verre rouge laisse très-bien passer les rayons rouges, et n'en laisse presque pas passer d'autres. Au contraire, un certain verre vert ne laisse pas passer la moindre quantité de lumière rouge, mais se laisse, au contraire, traverser par les rayons jaunes, verts et bleus, qui, mélangés ensemble, donnent naissance à ce vert particulier. Par suite, lorsque nous regardons un objet quelconque à travers ces deux verres, il nous paraît rouge à travers le premier, vert à travers l'autre.

Quand on laisse tomber de la lumière qui a passé sur un premier verre rouge sur un second verre de la même couleur, elle traverse celui-ci sans éprouver une diminution d'intensité notable, parce qu'elle ne renferme plus que les rayons qui passent sans difficulté à travers cette espèce de verre. Le soleil ou un mur blanc nous paraît donc à peu près aussi

Digitized by Google

éclairé à travers les deux verres superposés qu'à travers le premier seul. La même chose arrive lorsque l'on opère avec deux verres de même couleur verte. Si, au contraire, on fait tomber la lumière qui a traversé un verre vert sur un verre rouge, elle est complétement absorbée, parce que les seules couleurs que le verre rouge est capable de laisser passer manquent dans la lumière qui a traversé le verre vert. Le même effet s'observe lorsque l'on fait tomber sur un verre vert de la lumière qui a traversé un verre rouge. Un pareil système de verres superposés forment donc un corps opaque, quoique pris isolément chacun d'eux soit parfaitement transparent.

Nous observons des phénomènes tout à fait analogues pour la chaleur; il suffit de choisir un peu différemment les substances afin d'obtenir des effets considérables. Du verre noir, qui ne laisse pas du tout passer de lumière, se laisse traverser par une partie assez considérable des rayons calorifiques qui nous viennent du soleil; l'alun se laisse de même traverser par quelques-uns de ces rayons. Mais la chaleur subit en traversant ces corps la même modification que la lumière blanche qui traverse des verres colorés. Des rayons calorifiques qui ont traversé une plaque d'alun, traversent très-bien une seconde plaque d'alun, mais ne traversent pas du tout le verre noir; et réciproquement de la chaleur qui a passé à travers une plaque de verre noir passe très-facilement à travers une seconde plaque du même verre, et ne traverse pas du tout une plaque d'alun. On ne saurait douter, le moins du monde, que la chaleur qui sort du verre noir ne soit d'une autre nature que la chaleur sortant de l'alun, bien que ces deux espèces de chaleur exercent des effets identiques sur un thermomètre ou sur nos sens. Un grand nombre de phénomènes prouvent que cette différence est de même nature que celle qui existe entre les lumières de couleurs différentes.

Dans ces derniers temps, on a constaté que la chaleur rayonnante présente une série d'autres phénomènes propres à la lumière, tels que la polarisation et l'interférence, ainsi que cela résulte des expériences de Knoblauch. Comme l'explication de ces phénomènes, dans le cas de la lumière, repose essentiellement sur la théorie des ondulations, il est à peu près impossible de ne pas admettre que la chaleur rayonnante consiste, elle aussi, en vibrations de l'éther se propageant par ondulation.

Si au lieu de considérer la chaleur rayonnante nous examinons maintenant la chaleur qui se trouve dans les corps, nous constatons encore une série de phénomènes qui excluent toute idée de matérialité de la chaleur.

Toutes les substances sont soumises à la loi suivante : une substance existante peut être amenée sous différents états, mais on ne saurait lui enlever son existence, pas plus que l'on ne saurait créer une nouvelle substance. Si donc il nous est possible de créer d'une manière ou d'une autre de la chaleur, nous en conclurons que la chaleur n'est pas une substance matérielle.

Or, tout le monde sait qu'en frottant deux corps l'un contre l'autre ils s'échauffent. On peut, par un simple frottement, échauffer deux morceaux de bois au point de les faire brûler. De même les outils, le foret et la scie, par exemple, s'échauffent pendant le travail; souvent on ne peut les toucher tellement ils sont chauds. On peut de même échauffer sensiblement de l'eau en l'agitant pendant longtemps. Dans ces cas, surtout lorsqu'il s'agit de l'eau, les corps qui sont échauffés n'ont subi aucun changement; on ne peut donc supposer que, par suite d'un changement d'état de ces corps, une certaine quantité de chaleur, existant primitivement à l'état de chaleur combinée, soit devenue libre, et il ne reste plus qu'à admettre que la chaleur que nous voyons se manifester dans ces circonstances est en réalité engendrée par le frottement.

Ce fait serait complétement inexplicable dans l'hypothèse de la matérialité de la chaleur. Il en est tout autrement si la chaleur qui se trouve dans un corps est un mouvement des parties constituantes de ce corps, mouvement que l'on ne peut apercevoir isolément à cause de la petitesse extraordinaire des parties en mouvement, et qui ne devient appréciable que par l'ensemble des effets produits. En admettant cette hypothèse, on comprend facilement qu'un mouvement extérieur très-vif et persistant, tel que celui qui se produit pendant le frottement, puisse à la longue mettre en mouvement les plus petites particules du corps et engendrer ainsi de la chaleur.

Maintenant se présente une autre question : comment devons-nous nous figurer ce mouvement intérieur, afin de pouvoir en tirer l'explication des effets que la chaleur produit sur les corps? Cette question n'est pas encore complétement résolue; cependant je crois qu'on peut au moins se faire une idée approchée de ce mouvement.

Pour cela, nous allons considérer l'un après l'autre les trois états d'agrégation des corps.

Dans l'*état solide*, les corps ont une tendance à conserver la forme qu'on leur a donnée; beaucoup d'entre eux ont de plus une tendance à prendre des formes déterminées, des formes cristallographiques, en passant de l'état liquide à l'état solide. Il faut en conclure que les molécules ne se juxtaposent pas d'une manière arbitraire, selon le hasard qui les place en présence, mais que ces molécules sont le siége de forces qui les obligent à ne prendre que des positions déterminées les unes par rapport aux autres. Aussi longtemps que le corps reste solide, les molécules ne peuvent quitter entièrement leurs positions, elles ne peuvent qu'exécuter autour de la position que leur assigne la pesanteur des mouvements vibratoires renfermés dans des limites déterminées.

Dans l'*état liquide*, les mouvements sont devenus si forts que les molécules isolées n'occupent plus des positions déterminées auxquelles elles reviennent toujours pendant leurs mouvements; elles se meuvent, au contraire, d'une manière tout à fait irrégulière. Nous nous expliquons ainsi la grande mobilité des liquides. Cependant l'attraction des molécules les unes pour les autres n'est pas encore complétement détruite par le mouvement. Quand bien même chaque molécule isolée n'est pas fixée à une autre molécule bien déterminée, les molécules n'en restent pas moins réunies les unes aux autres pour former une masse qui occupe un espace déterminé.

Dans l'*état gazeux*, il faut enfin admettre, ainsi que Kroenig l'a fait, que les molécules sont animées de mouvements tels qu'elles se repoussent et que chaque molécule s'envole, indépendante des autres, jusqu'à ce qu'elle rencontre un obstacle contre lequel elle se réfléchit pour voler de nouveau dans une autre direction. Si une pareille masse d'air se trouvait isolée dans l'espace sans être soumise à aucune force étrangère, les molécules se sépareraient et s'étendraient à l'infini. Lorsque la masse gazeuse se trouve dans un vase, les molécules heurtent continuellement, tantôt un point, tantôt un autre, des parois du vase, de sorte que ces parois doivent leur opposer une certaine résistance pour ne pas être repoussées

Digitized by Google

par ces chocs répétés. De là la pression que tout gaz exerce sur l'enveloppe qui le renferme.

Si nous comparons maintenant ce nouvel état de la chaleur considérée comme un mouvement des plus petites parties du corps avec la chaleur rayonnante considérée comme un mouvement vibratoire de l'éther, nous voyons facilement la possibilité du passage de l'un de ces états à l'autre. Nous pouvons ici encore prendre pour point de départ les phénomènes acoustiques.

Nous avons vu qu'un corps sonore met en mouvement l'air qui l'entoure et y produit des vibrations qui se propagent à l'état d'ondes que nous percevons ensuite comme son. Inversement, les ondes qui se propagent dans l'air peuvent mettre en vibration un corps qu'elles viennent heurter. Lorsqu'on fait bien attention, on remarque souvent que, dans une salle où l'on fait de la musique, tous les corps qui peuvent vibrer se mettent spontanément à vibrer à l'unisson; cet effet se remarque surtout lorsqu'on produit des sons soutenus et vigoureux, lorsqu'on se sert d'instruments à vents ou à cordes, ou bien lorsqu'on chante. Lorsque, dans l'air qu'on joue, se présentent des sons qui sont en rapport harmonique avec les sons que peut rendre un certain corps, celui-ci, entraîné par une espèce de sympathie, semble éprouver l'envie de mêler sa voix à la symphonie générale. Pour observer ce phénomène, il suffit de reconnaître le son rendu par un corps facile à mettre en vibration, tel qu'un verre ou une cloche dont le timbre est bien clair; on chante alors la note correspondante ou on la produit à l'aide d'un instrument. Lorsque le son principal aura cessé de résonner, on entendra encore distinctement le corps répéter le même son.

Les vibrations des molécules isolées s'exécutent absolument comme celles du corps total; seulement elles sont beaucoup plus rapides. L'air, qui est lui-même composé de molécules, est une matière beaucoup trop grossière pour pouvoir exécuter un mouvement d'oscillation régulier sous l'influence de ces vibrations; mais, ainsi que nous l'avons déjà dit, il existe un autre fluide plus ténu, l'éther, dont les particules sont par rapport aux molécules d'un corps ce que les molécules de l'air sont par rapport à un corps sonore. Cet éther tient ici la place de l'air; il reçoit les mouvements des molécules et les propage dans tous les sens sous forme d'ondes qui constituent la chaleur rayonnante. Lorsque les ondes calorifiques de l'éther tombent sur un corps dont les molécules sont animées d'un mouvement moins rapide, les pulsations qu'elles produisent peuvent très-bien, malgré la grande ténuité de l'éther, parvenir, avec le temps, à augmenter par leur nombre le mouvement des molécules, de même qu'une cloche de verre ou de métal peut être mise en vibration par les petits chocs des ondes sonores de l'air. On explique ainsi très-simplement pourquoi un corps peut s'échauffer peu à peu sous l'influence de la chaleur rayonnante et rassembler en lui-même la chaleur émise par un autre corps. Inutile pour cela de considérer la chaleur comme une substance attirée par les molécules des corps et retenue autour d'elles.

Il ne nous reste plus maintenant qu'à examiner comment se comportent l'une par rapport à l'autre, la chaleur rayonnante et la lumière, puisque toutes deux consistent en vibrations de l'éther.

Dans les rayons solaires et dans les rayons d'une flamme, la lumière et la chaleur sont réunies. La même chose n'a pas toujours lieu. Bien plus souvent les rayons calorifiques ne sont pas accompagnés de rayons lumineux. Lorsqu'on se trouve dans le voisinage d'un corps modérément échauffé, par exemple à côté d'un poêle, on reconnaît immédiatement, par la simple sensation et sans avoir besoin de thermomètre, que ce corps émet de la chaleur. Mais cette chaleur n'est pas accompagnée de lumière, car le poêle est complétement invisible dans l'obscurité. A part quelques substances qui portent le nom de phosphorescentes, les corps n'émettent de la lumière propre que lorsqu'ils sont élevés à une très-haute température, lorsqu'ils deviennent incandescents.

La distinction que nous établissons entre la chaleur et la lumière repose très-probablement sur une particularité de construction de notre œil. Les différentes couleurs de la lumière ne s'éloignent pas beaucoup les unes des autres par rapport à leur vitesse de vibration. Les sons employés dans la musique occupent à peu près 9 octaves et l'ensemble des sons que nous sommes capables de percevoir s'élève, d'après les expériences faites jusqu'ici, au delà de 12 octaves; tandis que toutes les couleurs visibles ne comprennent même pas 1 octave entière, ainsi que nous l'avons constaté plus haut. Mais des expériences d'un autre genre ont prouvé que l'éther est capable d'exécuter encore d'autres vibrations qui s'étendent au delà de cet intervalle; il fait surtout beaucoup de vibrations plus lentes que celles du rouge le plus sombre. Il faut donc admettre que notre œil, par suite de son organisation, est incapable de percevoir comme lumière toutes les vibrations de l'éther; il ne perçoit que les vibrations dont la vitesse est comprise dans de certaines limites.

Les ondes produites dans l'éther par les mouvements vibratoires des molécules d'un corps élevé à une température modérée ne se succèdent pas avec une rapidité suffisante pour influencer notre œil, quoique considérées en elles-mêmes ces vibrations soient très-rapides. Mais à mesure que la température s'élève les vibrations augmentent, non-seulement en intensité mais aussi en quantité; il arrive ainsi qu'à partir d'une certaine température il se produit parmi les ondulations émises par le corps des ondes animées d'une vitesse convenable pour produire de la lumière, et à partir de ce moment le corps devient éclairant. La première lumière émise par les corps est celle qui parmi toutes les espèces de lumières vibre le plus lentement, la lumière rouge. Lorsque le corps s'échauffe davantage, des vibrations jaunes, vertes et bleues s'ajoutent successivement aux vibrations rouges; c'est ainsi que les corps passent successivement du rouge naissant à l'orangé de plus en plus clair jusqu'au blanc éblouissant, lorsqu'on élève de plus en plus leur température.

Il ne faudrait cependant pas croire qu'un corps chauffé au rouge blanc n'émet que des vibrations susceptibles d'être perçues comme lumière; il émet, au contraire, un mélange très-varié de vibrations lentes et rapides. Nous en voyons la preuve dans le fait que nous avons déjà cité, que les rayons calorifiques provenant d'un corps chauffé au blanc passent en partie à travers une plaque de verre noir qui ne laisse pas passer le le moindre rayon lumineux. Cette portion de rayons calorifiques doit consister en rayons incapables d'être perçus comme lumière. On peut se rendre compte de l'effet produit par le verre noir en admettant qu'il a la propriété de ne laisser passer que des vibrations plus lentes que celles du rouge le plus sombre, de même que le verre rouge ne se laisse traverser que par des vibrations plus lentes que les vibrations jaunes. Melloni a conclu de ses expériences que de tous les rayons émis

Digitized by Google

par la flamme blanche d'une lampe à huile, un dixième seulement agit en même temps comme chaleur et comme lumière ; les neuf autres dixièmes des rayons ne se manifestent que par leurs propriétés calorifiques.

Cette manière de concevoir ces phénomènes nous conduit à admettre que la chaleur rayonnante et la lumière ne sont pas deux choses de natures différentes, mais que l'une constitue une partie de l'autre. Parmi la multitude de systèmes d'ondulations qui se propagent dans l'éther et qui toutes sont capables d'échauffer les corps sur lesquels elles tombent, il en existe une certaine classe possédant en outre la propriété d'exciter dans notre œil la sensation de la lumière. Nous ne parlerons donc plus de rayons lumineux et de rayons calorifiques, mais de rayons calorifiques visibles et de rayons calorifiques invisibles ou obscurs.

Si nous réunissons tout ce que nous venons de constater sur la nature de la chaleur, nous pouvons dire :

« Tous les corps de la nature, même ceux qui paraissent » complétement en repos, sont soumis à des mouvements in- » térieurs très-violents, et ces mouvements se communiquent » à l'éther environnant, de sorte que tout l'espace céleste est » traversé continuellement et dans tous les sens par une foule » de mouvements ondulatoires, et c'est à l'ensemble de tous » ces mouvements que nous donnons le nom de chaleur. »

Ces mouvements considérés isolément sont bien petits et cependant ils sont capables de produire de grands effets par leur quantité ; partout où nous rencontrons le mouvement et la vie dans la nature, nous trouvons aussi l'action de la chaleur.

Le moyen le plus puissant que nous possédons pour mettre en mouvement de grandes masses inertes, pour vaincre la résistance des forces naturelles, est la machine à vapeur. Mais qu'est-ce qui travaille dans la machine à vapeur? Ce n'est pas la vapeur, la vapeur n'est que le moyen ; la cause qui agit, c'est la chaleur. Par la chaleur du feu, l'eau est forcée de se transformer en vapeur et de faire mouvoir le piston du cylindre à vapeur et par suite de faire marcher toute la machine.

Examinons maintenant quelques-uns des phénomènes naturels les plus communs.

L'air atmosphérique qui nous entoure n'est jamais complétement en repos ; il est continuellement agité par des vents qui peuvent devenir assez forts pour arracher des arbres et renverser des maisons. Ces vents doivent leur origine à la distribution inégale de la chaleur sur la surface de la terre. Lorsqu'en un point du globe l'air s'échauffe plus que dans un autre point, il se dilate davantage, devient plus léger et l'équilibre est ainsi rompu. L'air échauffé s'élève dans les parties supérieures et s'écoule par en haut vers une autre contrée, tandis que dans les parties inférieures il est remplacé par de l'air moins chaud.

Les plus grandes différences de température qui se présentent sur notre globe proviennent de ce que, sous l'influence du soleil, les contrées voisines de l'équateur s'échauffent plus que les contrées voisines des pôles. Il en résulte que c'est dans les régions équatoriales que se produisent les courants ascendants les plus forts ; ces courants occasionnent une arrivée continuelle d'air froid venant des pôles, tandis que l'air échauffé regagne les contrées polaires. C'est à ces effets que sont dus les grands courants polaires et équatoriaux qui dominent toujours dans la direction des vents malgré les perturbations produites par les circonstances locales ; tout le monde connaît l'influence des variations de ces vents sur les changements de temps. Si la terre était partout également échauffée, ces courants d'air n'existeraient pas et une triste monotonie règnerait dans nos climats.

Un autre mouvement que nous observons tous les jours est celui de l'eau. Nous voyons les rivières et les fleuves couler continuellement dans la même direction. Comment se fait-il que jamais ils ne tarissent? Pourquoi toute l'eau ne se rassemble-t-elle pas dans la mer pour y rester définitivement en repos? Encore ici nous trouvons un effet de la chaleur.

Sur la vaste surface de la mer et partout où la terre est couverte d'eau, le soleil exerce son action, échauffe l'eau et en réduit une partie en vapeur. La vapeur se mêle à l'air qui la transporte au loin, soit à l'état de vapeur invisible, soit à l'état de nuages. Lorsque l'air est sursaturé de vapeur d'eau, ou bien lorsqu'un refroidissement local condense une partie de la vapeur qui s'y trouve, celle-ci tombe à l'état de pluie ou de neige sur quelque montagne ou sur quelque versant, d'où l'eau descend par l'effet de la pesanteur et regagne la mer. Les fleuves ne sont donc qu'une moitié d'un cours circulaire dont la seconde moitié se trouve dans les nuages.

Nous mettons souvent à profit le mouvement de l'air et de l'eau pour produire des mouvements qui peuvent nous être utiles. Nous opposons au vent les voiles de nos vaisseaux qui s'avancent sous son souffle ; nous le forçons de faire tourner nos moulins ; de même, nous utilisons la force qui réside dans l'eau courante pour faire marcher nos moulins et nos fabriques. Mais dans tous ces cas, la véritable force qui agit est la chaleur, ainsi que cela résulte de tout ce qui précède. Entre une fabrique qui marche à la vapeur ou par une chute d'eau, entre le bateau à vapeur et le vaisseau à voiles, il n'y a qu'une différence : dans un cas, nous forçons la chaleur de travailler dans une petite machine construite dans des conditions convenables ; dans l'autre, nous mettons à profit la grande machine de la nature ; nous faisons engrener nos petites machines avec ses puissantes roues.

Dans la nature organique, les effets de la chaleur sont encore bien plus puissants que dans la nature inorganique.

Je n'ai pas besoin de vous rappeler que la vie organique ne peut exister sans une certaine température. Si nos froids d'hiver persistaient, la terre resterait toujours gelée et toute végétation serait impossible ; par suite, la base même de la vie animale viendrait bientôt à manquer. En dehors de cette influence facile à saisir la chaleur exerce d'autres actions qui frappent un peu moins nos yeux, mais qui pour cela n'en sont pas moins importantes.

Les hommes et les animaux ont besoin pour vivre d'aliments et d'air. Les matières alimentaires consistent principalement en carbone, hydrogène, oxygène et azote. L'azote en forme la moindre partie et quoiqu'il soit essentiel à la nutrition, nous pouvons le laisser de côté dans les considérations dans lesquelles nous allons entrer. Deux des trois autres substances, le carbone et l'hydrogène sont très-combustibles ; ils se combinent facilement avec l'oxygène pour former de l'acide carbonique et de l'eau. Ordinairement les aliments contiennent assez d'oxygène pour brûler tout leur hydrogène, mais la combustion du carbone nécessite de nouvelles quantités d'oxygène. C'est l'air inspiré qui fournit cet oxygène, et dans l'intérieur du corps se passe une espèce de combustion qui est la source de la chaleur du corps animal et de toute sa puissance mécanique.

Digitized by Google

Puisque, dans la vie de l'homme et des animaux, de nouvelles quantités de carbone et d'oxygène se combinent continuellement pour former de l'acide carbonique, et qu'une combinaison analogue se produit dans la combustion ordinaire et dans la putréfaction, on pourrait croire que les quantités d'oxygène libre et de carbone vont continuellement en diminuant, et que peu à peu la vie animale deviendra impossible sur la terre. Cette disparition des éléments nécessaires à la vie est empêchée par la manière toute spéciale dont se nourrissent les plantes.

Le développement des plantes repose en grande partie sur la décomposition de l'acide carbonique contenu dans l'air, et dont la plante s'assimile le carbone en rendant à l'atmosphère l'oxygène pur. Ainsi, les animaux fournissent aux plantes les substances sous la forme qui leur convient, et les plantes ramènent ces substances à l'état qui convient aux animaux.

Ce cours circulaire ne peut naître de lui-même. Le carbone et l'oxygène éprouvent l'un pour l'autre une certaine affinité chimique; une fois combinés, ils ne peuvent plus se séparer sans l'intervention d'une force étrangère capable de surmonter leur affinité, et cette force étrangère qui rend possible ce cours circulaire, nous sommes obligés de l'attribuer de nouveau à la chaleur, du moment que nous considérons comme une seule et même chose la chaleur rayonnante et la lumière. Les mouvements vibratoires que le soleil nous envoie par l'intermédiaire de l'éther produisent à la surface des feuilles, d'une manière qui est encore une énigme pour nous, une action très-importante : elles mettent en liberté le carbone contenu dans l'acide carbonique. Les feuilles absorbent ce carbone dans un état favorable à son assimilation et le mettent sous une forme qui en fait une des parties principales de la nourriture animale. Ainsi, toute la vie végétale et animale repose sur l'action immédiate des rayons solaires.

Lorsque nous cherchons la cause des changements que nous observons autour de nous, nous trouvons presque toujours la chaleur comme véritable principe actif. Sans elle, tous les corps obéiraient à leurs propres forces, et bientôt il se produirait un état d'équilibre qui ferait de la terre une masse sans vie et sans changements. La chaleur s'oppose à l'établissement de cet équilibre. Elle dilate les corps malgré leurs attractions intérieures; elle sépare les molécules des solides et des fluides; elle défait même des combinaisons chimiques. Les forces primitivement liées redeviennent actives, forment de nouvelles combinaisons que la chaleur décompose de nouveau, et cette lutte, ce combat éternel de la chaleur et des forces inhérentes aux corps est la cause de toutes les productions, de toutes les modifications que nous voyons dans la nature.

La chaleur ne jouerait pas un pareil rôle si elle était une substance comme les autres substances. C'est parce qu'elle est un simple mouvement qu'elle peut engendrer le mouvement.

Traduit sur le texte allemand de R. CLAUSIUS par FELTZ.

MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE.

PHYSIQUE VÉGÉTALE (1).

COURS DE M. GEORGES VILLE.

Assimilation de l'azote. — Rôle des sels ammoniacaux, des nitrates et des matières organiques azotées.

Après avoir réduit à néant l'intervention de l'ammoniaque atmosphérique dans la végétation, nous devions naturellement nous demander si, dans le cas où l'air contiendrait des quantités réellement importantes d'ammoniaque, ce corps exercerait une influence appréciable sur la vie végétale. De nombreuses expériences furent instituées dans ce but, et vinrent m'apprendre qu'en effet l'ammoniaque répandue dans l'atmosphère où végétaient des plantes était assimilée par elle et imprimait à leur développement un caractère d'activité inaccoutumé.

D'une manière générale, et à part les exceptions dont les légumineuses sont l'exemple le plus remarquable, on peut dire que l'azote est plus facilement assimilable à l'état d'ammoniaque qu'à l'état de gaz. Dans une atmosphère additionnée de vapeurs ammoniacales, la végétation est généralement plus prospère que dans l'air pur. Le colza et le froment, en particulier, y acquièrent un développement tout à fait exceptionnel ; leurs feuilles sont d'un vert foncé ; on les dirait enduites d'une couche de plombagine, et, à l'analyse, la récolte accuse une proportion d'azote plus élevée.

J'ai réussi, par l'emploi de l'ammoniaque en vapeur, à donner à des orchidées un degré de vigueur et de prospérité qui contrastait avec l'état habituellement maladif de ces plantes. On a particulièrement remarqué les bons effets de ces vapeurs sur les espèces *Phajus*, *Zycopetalum*, *Lycastes*, *Houletia*. Sur les *Musa*, les *Caladium*, les *Crinum*, les *Ravenala* et les *Pelargonium*, leur action a été plus manifeste encore. Le moyen le plus simple pour mettre en pratique ces espèces de fumigations dans les serres consiste à frotter un morceau de carbonate d'ammoniaque sur les conduits de chaleur du calorifère.

L'emploi des vapeurs ammoniacales exige une grande surveillance. Il faut l'interrompre pendant les chaleurs de l'été et quand approche l'époque de la floraison, car en surexcitant le développement des feuilles on nuirait à la production des fleurs. Pour préciser, autant qu'il m'est possible, ces notions sur l'assimilation de l'ammoniaque et sur ses effets, je crois devoir placer sous vos yeux les résultats de deux cultures de même nature, instituées l'une dans l'air pur, l'autre dans une atmosphère artificiellement additionnée de vapeurs ammoniacales.

Vous remarquerez, messieurs, que non-seulement la récolte est plus forte dans l'air ammoniacal, mais encore qu'elle est beaucoup plus azotée.

Dans l'air pur.	Récoltes sèches. gr.	Azote contenu. gr.	*Dans l'air ammoniacal.*	Récoltes sèches. gr.	Azote contenu. gr.
Colza.....	53,76	1,070	Colza.....	67,02	2,810
Froment...	2,80	0,031	Froment...	19,28	0,730
Seigle....	3,14	0,137	Seigle....	18,65	0,573
Total...	59,70	1,238		104,95	4,113

(1) Voy. les nos 32, 36, 38, 39, 44, 46, 48 et 51 de la 2e année. et les nos 4 et 6 de la troisième.

Digitized by Google

AZOTE DANS 100 PARTIES DE RÉCOLTE.

Venues dans l'air pur.		*Venues dans l'air ammoniacal.*	
Colza	1,99	Colza	4,19
Froment	1,10	Froment	3,77
Seigle	1,18	Seigle	3,07

Ces résultats sont pour nous doublement remarquables. Ils établissent, en effet, qu'il est possible, au moyen de l'ammoniaque, d'exciter singulièrement la végétation, et je ne doute pas qu'entre les mains de nos habiles horticulteurs l'emploi des vapeurs ammoniacales dans les serres ne devienne un procédé pratique précieux pour parvenir à des résultats sans doute très-inattendus. En second lieu, ils viennent à l'appui de tout ce que je vous ai dit de l'assimilation de l'azote de l'air, et prouvent, une fois de plus, que l'atmosphère ne renferme pas une quantité d'ammoniaque suffisante pour que son influence sur les cultures soit appréciable. La végétation se montrant, en effet, d'une excessive sensibilité à l'action des vapeurs ammoniacales, n'est-il pas évident que si l'atmosphère en contenait des doses un peu plus élevées, cette action se manifesterait d'une manière générale, et que nous la retrouverions dans les expériences de M. Boussingault à l'air libre, expériences dans lesquelles, vous le savez, il n'y a pas eu d'azote fixé? Pour peu que la proportion si faible d'ammoniaque contenue dans l'air vint à s'élever, la végétation ne tarderait pas à reprendre ces formes gigantesques qu'elle avait au commencement du monde, et dont nous ne retrouvons la trace que dans les houillères où ont été enfouis les Calamites, les Lépidodendrons, ses premiers représentants.

L'ammoniaque n'est pas seulement assimilable à l'état de vapeurs répandues dans l'atmosphère, elle peut aussi concourir à la nutrition végétale en pénétrant dans les plantes à l'état de dissolution saline absorbée par les racines. Pour mettre en évidence ce nouveau mode d'assimilation, il suffit d'ajouter du sel ammoniac à un sol de sable pourvu de tous les minéraux que la production des végétaux exige. Dans ces conditions, leur prospérité est plus grande qu'avec les minéraux seuls. On constate, en outre, que la proportion de sel ammoniac diminue dans le sol à mesure que les plantes progressent. L'assimilation est donc certaine. Si l'on substitue un nitrate au sel ammoniac dans cette expérience, on arrive au même résultat. Les végétaux s'assimilent également l'azote de l'acide nitrique; on constate même qu'à proportion égale d'azote, le nitrate de potasse produit plus d'effet que les composés ammoniacaux. Voici quelques faits précis à l'appui de ces deux assertions :

CULTURE DE FROMENT.

Avec 0gr,110 d'azote à l'état de	Poids de la récolte sèche.	Azote dans la récolte.
	gr.	gr.
Nitrate de potasse	26,71	0,221
Chlorhydrate d'ammoniaque	20,40	0,142
Nitrate d'ammoniaque	18,32	0,133
Phosphate d'ammoniaque	18,40	0,138

Dans une autre expérience sur le colza, l'avantage en faveur du nitre a été plus marqué encore.

CULTURE DE COLZA.

Avec 0gr,110 d'azote à l'état de	Poids de la récolte sèche.	Azote dans la récolte.
	gr.	gr.
Chlorhydrate d'ammoniaque	6,80	0,106
Nitrate de potasse	15,20	0,374

M. Kuhlmann a obtenu en grand des résultats analogues. Il a constaté que les nitrates et les sels ammoniacaux, employés à doses égales, produisent des effets égaux. Il en résulte clairement que les nitrates sont plus efficaces, puisque, à poids égal, ils renferment presque moitié moins d'azote. En effet, le nitrate de soude du commerce contient de 15 à 16 pour 100 d'azote, tandis que le sel ammoniac en renferme de 25 à 27 pour 100.

EXPÉRIENCES SUR UNE PRAIRIE NATURELLE, PAR M. KUHLMANN.

		POUR 1 HECTARE.		
		quantité d'engrais employé.	Poids de la récolte.	Excédant dû à l'engrais.
1844.	Sans engrais	» k.	3820k.	» k.
	Sulfate d'ammoniaque.	250	5564	1744
	Nitrate de soude	250	5590	1770
1845.	Sans engrais	»	7744	»
	Sulfate d'ammoniaque.	200	9388	1644
	Nitrate de soude	200	9545	1801

Les cultures de Vincennes n'ont pas présenté les mêmes différences. Les sels ammoniacaux ont produit relativement plus d'effet que les nitrates. Mais j'incline à penser que si les résultats ne concordent pas avec les précédents, cela tient aux doses excessives des produits azotés mis en jeu. Les cultures étant surabondamment pourvues de ces composés, l'influence de leur forme individuelle ne pouvait guère se manifester.

CHAMP D'EXPÉRIENCES DE VINCENNES.

ACTION COMPARÉE DU NITRATE DE SOUDE ET DU SEL AMMONIAC.

(174 kilogr. d'azote à l'hectare).

		RÉCOLTES SÈCHES A L'HECTARE.			
		Nitrate de soude.		Sel ammoniac.	
		k.	k.	k.	k.
1862	Froment de printemps	Paille. 4380 Grain. 1900	6280	Paille. 3930 Grain. 1900	5830
1863	Froment d'automne.	Paille. 6435 Grain. 3135	9570	Paille. 6941 Grain. 3750	10691
1864	Froment d'automne.	Paille. 4190 Grain. 1980	6170	Paille. 4500 Grain. 1890	6390
1861	Betteraves	Racines	8196	Racines	7940
1862	Id	Racines	3620	Racines	3053
1861	Orge de printemps	Paille. 5350 Grain. 3020	8370	Paille. 5270 Grain. 3280	8550
1862	Id	Paille. 4450 Grain. 2730	7180	Paille. 3880 Grain. 2450	6330
1863	Colza	Paille. 10400 Grain. 2670	13070	Paille. 8750 Grain. 2740	11490
1861	Pois	Paille. 5580 Grain. 1471	7051	Paille. 5380 Grain. 1470	6850
1862	Pois	Paille. 3280 Grain. 1400	4680	Paille. 3930 Grain. 1690	5620

Les matières organiques qui contiennent de l'azote exercent sur la végétation une action comparable à celle des sels ammoniacaux et des nitrates. Cela ne doit pas nous surprendre, puisque leur décomposition produit de l'ammoniaque. Les bons effets du sang desséché, de la chair, des déjections animales et des fumiers en vert sont dus en partie à cette production. Il ne m'a pas été donné de pouvoir emprunter à la grande culture les documents qui me seraient nécessaires pour énoncer à ce sujet des faits précis, mais je puis y suppléer en partie par les résultats suivants, tirés de mes recherches de laboratoire :

Digitized by Google

CULTURE DE FROMENT.

Avec 0gr,110 d'azote à l'état de	Poids de la récolte sèche.	Azote dans la récolte.
	gr.	gr.
Nitrate de potasse.....	26,71	0,221
Sel ammoniac.....	20,40	0,142
Gélatine.....	22,56	0,204
Graines de lupin.....	18,12	0,154

L'emploi des matières azotées se rattache au phénomène de l'absorption de l'azote par un ordre de faits qui méritent de vous être signalés. Ils éclairent d'une lumière inattendue cet acte important de la vie végétale, et ils nous révèlent en même temps les conditions les plus avantageuses de l'emploi de ces substances. Si l'on institue dans un sol de sable calciné deux cultures de colza dans des conditions identiques, à cette différence près que l'une reçoit 0gr,50 de nitrate de potasse, et l'autre 1 gramme, on est conduit, par rapport à l'assimilation de l'azote de l'air, à deux résultats contradictoires.

Tout est d'abord semblable entre les deux cultures. Les plantes prospèrent à l'envi; leurs feuilles, d'un beau vert, étalent leur limbe ferme et résistant à l'extrémité d'un pétiole rigide et droit. Mais, au bout de six semaines, le pot, qui n'a reçu que 0gr,50 de nitre, change d'aspect. Les feuilles perdent leur fraîcheur, elles deviennent glauques et ternes. Les premières venues pâlissent et se détachent, et celles qui poussent encore n'atteignent pas la dimension de leurs aînées. Vainement on prolongerait l'expérience; les plantes n'arriveraient pas à dépasser cette phase, limite de leur développement; il semble qu'elles soient arrêtées par un obstacle infranchissable. Si l'on termine l'expérience à cette période, et qu'on dose l'azote de la récolte, on la trouve en quantité rigoureusement égale à la somme de l'azote contenu à la fois dans le nitre et dans la semence. Prenons acte, par quelques chiffres, de ce premier fait.

CULTURE DE COLZA, AVEC 0gr,50 DE NITRE.

	1		11	
Semences desséchées à 100 degrés.	0gr,027		0gr,027	
Azote du nitre et de la semence .		0gr,070		0gr,070
Récolte desséchée à 100 degrés...	5gr,14		5gr,02	
Azote de la récolte.....		0gr,066		0gr,068

Dans le second pot, qui a reçu 1 gramme de nitre au lieu de 0gr,50, les choses se passent tout autrement. Le ralentissement et le temps d'arrêt subis par la première culture ne se font pas sentir. Les plantes continuent de prospérer, et si l'on prolonge l'expérience pendant quatre mois, la récolte, au terme de cette durée, accuse un excédant d'azote considérable. Voici, en effet, jusqu'où cet excédant peut aller.

CULTURE DE COLZA, AVEC 1 GRAMME DE NITRE.

Semence séchée à 100 degrés.....	0gr,031	
Azote du nitre et de la semence.....		0gr,140
Récolte desséchée à 100 degrés.....	15gr,30	
Azote de la récolte.....		0gr,374

Quelle est la signification de ces résultats si différents? Ils nous apprennent que les matières azotées agissent de deux manières sur la végétation : par l'azote dont elles enrichissent le sol, et par l'azote que les plantes développées sous leur vivifiante influence arrivent à puiser elles-mêmes dans l'atmosphère. Mais, pour que ces derniers effets se produisent, il faut que les plantes trouvent dans la terre la quantité de composés azotés nécessaires pour donner aux feuilles le développement et la force qu'exige l'assimilation de l'azote gazeux. Les colzas cultivés avec 0gr,50 de nitre n'ont rien gagné, parce qu'ils n'ont pu atteindre ce développement; les autres, qui en avaient reçu 1 gramme, accusent, au contraire, un excédant considérable, parce qu'ils l'ont atteint et dépassé.

Entre les végétaux, qui, à l'exemple du froment, tirent de préférence leur azote du sol, et ceux qui semblent le prendre en totalité dans l'air et sur lesquels les nitrates et les sels ammoniacaux exercent un effet au moins nul sinon nuisible, comme nous l'avons reconnu pour les pois et pour le trèfle, il faut placer ceux qui occupent un rang intermédiaire. Telle est notamment la betterave, dont la culture réclame impérieusement de grandes quantités de matières azotées, mais dont la récolte accuse, en fin de compte, un excédant considérable d'azote.

Plus cet excédant sera élevé, et plus la plante sera améliorante, car plus elle sera apte à compenser les pertes d'azote en combinaison qui résultent soit des exhalaisons du sol, soit de la conversion d'une partie des récoltes en viande. Il résulte aussi de ce que je viens de vous dire, que les cultures les plus améliorantes sont, non pas celles qui pour prospérer exigent le moins d'engrais, mais bien celles qui prélèvent le plus d'azote sur l'atmosphère. Ajoutons même que, pour certaines d'entre ces dernières, plus la fumure sera forte et plus l'amélioration subséquente du sol sera grande. Ce rapport, cette solidarité dont la science vient de nous révéler la véritable cause, la pratique en a depuis longtemps constaté l'existence, comme l'attesteraient, au besoin, les paroles de Mathieu de Dombasle :

« C'est un fait d'observation générale, dit-il, que les fonctions par » lesquelles les végétaux s'approprient les éléments nutritifs contenus » dans le sol et dans l'air sont des *fonctions correspondantes*, de sorte » qu'une augmentation dans la quantité des principes qu'ils tirent de » la terre peut seule les mettre en état de s'approprier une quantité » plus considérable des aliments atmosphériques. C'est pour cela que » les plantes les plus améliorantes, celles qui empruntent le plus à » l'air, le sont d'autant plus qu'elles croissent sur un sol plus fertile. »

Cette théorie des cultures intensives peut se formuler d'une manière plus saisissante et plus scientifique. Supposons, en effet, une plante cultivée dans le sable calciné, aux dépens de l'air et de l'eau, et produisant, dans les quinze premiers jours qui suivent sa germination, 20 feuilles. Si le produit de l'absorption d'une feuille se traduit tous les quinze jours par la formation d'une feuille nouvelle, au bout de trois mois et demi la plante aura produit 2460 feuilles.

A côté, supposons une autre plante cultivée dans un sol fumé, et admettons que le fumier détermine tous les quinze jours la formation de 5 feuilles, en sus de celles dont l'air et et l'eau ont fait tous les frais dans la culture précédente. Après le même laps de temps, la plante aura produit 3495 feuilles, c'est-à-dire près de deux fois plus que dans le premier cas, et pourtant le fumier n'a déterminé par lui-même que la formation de 35 feuilles. Ce résultat que, au premier abord, on serait tenter de rejeter parce qu'il semble un paradoxe, s'explique cependant aisément, quand on réfléchit que les premières feuilles, qui ont le fumier pour origine, concourent à l'accroissement de la récolte, non-seulement par leur nombre, mais encore par les feuilles de formation subséquente, dont l'atmosphère a fait tous les frais. Il se passe là quelque chose d'analogue à ce que l'on observe dans la chute d'un corps : plus il tombe de haut, plus sa vitesse est grande lorsqu'il arrive à la surface de la terre, parce qu'à la vitesse qu'il acquiert à chaque instant s'ajoute l'action constante de la pesanteur.

Digitized by Google

Vous voyez par là, que les matières azotées jouent un rôle de premier ordre dans l'économie végétale. Dans la pratique on trouve de grands avantages à employer de préférence les sels ammoniacaux et le nitrate de soude. La fixité de leur composition, la sûreté de leur action, leur forme éminemment assimilable, leur assurent une supériorité méritée sur tous les autres composés azotés. J'ai coutume de les employer à la dose de 90 à 100 kilogrammes d'azote à l'hectare, ce qui fait en chiffres ronds 400 kilogrammes de sel ammoniac et 550 kilogrammes de nitrate de soude.

Par cela même que ces produits sont doués d'une grande puissance on ne saurait les répandre avec trop de soin et d'uniformité. On y parvient assez facilement, en les mélangeant avec quatre ou cinq fois leur poids de terre passée à la claie et sur laquelle on verse quelques arrosoirs d'eau. On mêle à la pelle les sels avec la terre, on forme un tas qu'on abandonne à lui-même pendant quarante-huit heures. Les sels se dissolvent en partie et se diffusent, par l'effet de la capillarité, dans toute la masse de terre ; on retourne encore une ou deux fois à la pelle, et l'on répand à la machine ou à la main, immédiatement après le dernier labour. On herse et l'on sème.

Quant à l'usage, dans le même but, des matières organiques azotées, sa théorie réclame une étude attentive par laquelle je terminerai cette séance.

Lorsque la pratique agricole eût constaté, il y a une quinzaine d'années, bien avant que l'on eût des idées nettes sur l'assimilation des nitrates et des sels ammoniacaux, les bons effets que l'on obtenait généralement de l'emploi des matières organiques azotées, comme engrais, MM. Boussingault et Payen, généralisant outre mesure des résultats dont l'analyse leur était inconnue, pensèrent que l'azote était, sinon la seule, du moins la principale cause de l'efficacité des engrais. C'est en vertu de cette hypothèse qu'ils construisirent leurs tables d'équivalents des engrais, dont le tableau suivant vous donnera une idée.

ÉQUIVALENTS DE QUELQUES ENGRAIS, D'APRÈS MM. BOUSSINGAULT ET PAYEN.

Engrais.	Teneur en azote pour 100 parties.	Équivalent.
Fumier de ferme	2,00	100
Paille de froment	0,53	312
Balles de froment	0,94	198
Feuilles de peuplier	1,17	159
Roseaux, mûrier	0,96	194
Sciure de sapin	0,31	603
Marc de raisin	2,00	100
Tourteau de lin	6,00	31
Excréments de porc	4,40	42
Excréments de mouton	1,70	110
Chair musculaire	14,25	13
Sang coagulé et pressé	17,00	11
Guano	15,75	14

Voici, au reste, comment s'expriment ces savants dans leur mémoire : « Nous regardons l'azote comme le principe dont » il importe surtout de constater la présence ; c'est sa pro- » portion qui établit, selon nous, la valeur comparative des » engrais et leurs équivalents réciproques (1). »

A la suite de ces affirmations si explicites le dosage de l'azote au moyen de la chaux sodée devint, pour ainsi dire, le juge suprême de la valeur des engrais. Cependant la pratique était loin d'en retirer les avantages annoncés. Dans bien des cas des engrais fort riches en azote se montraient inactifs ; dans d'autres, au contraire, des matières dans lesquelles l'analyse, ainsi pratiquée, attestait une extrême pauvreté, manifestaient, au contraire, une grande efficacité.

La cause de tous ces mécomptes est facile à reconnaître. D'abord les matières azotées, quelles qu'elles soient, n'exercent d'action sur le développement des végétaux qu'autant qu'elles sont accompagnées des principes minéraux essentiels à leur formation. Dans toutes les expériences dont je vous ai parlé jusqu'ici, on n'avait jamais manqué d'ajouter ces minéraux au sable calciné qui servait de sol, c'est pourquoi les matières azotées n'ont jamais manqué d'élever d'une manière importante les rendements. Qui ne voit dès lors que l'efficacité d'un engrais azoté dépend autant de la nature et de la quantité des minéraux utiles qu'il renferme que de sa richesse en azote ? Il y a plus encore : pour pouvoir prédire l'action d'un engrais par l'analyse, même lorsqu'on joindrait au dosage de l'azote celui de tous les minéraux utiles, il faudrait encore connaître la composition du sol auquel on se propose de l'appliquer. N'est-il pas évident, en effet, que, dans un sol privé des minéraux dont nous venons de parler, les engrais purement azotés seront complétement inefficaces et que dans un sol, déjà très-riche en composés azotés, ces derniers ne pourront avoir aucune influence ? Vous le voyez donc, messieurs, la doctrine de MM. Boussingault et Payen, bien qu'elle reposât sur un fait certain, l'utilité intrinsèque des matières azotées, péchait néanmoins par la base en exagérant l'importance de ces matières et en leur attribuant un rôle qui n'appartient en réalité qu'à l'ensemble des éléments de la production végétale. Mais là n'était pas encore son principal défaut. Devant les nombreux démentis de la pratique, ses auteurs lui ont fait subir un premier amendement en tenant compte, dans leurs nouveaux équivalents, du phosphate de chaux dont l'azote se trouve accompagné. Cette utile addition est encore insuffisante, puisque le phosphate de chaux n'est pas, comme nous le verrons plus tard, le seul minéral qui doivent entrer dans la composition des engrais. Mais en supposant même que l'on eût égard à tous les minéraux utiles et à la composition du sol, la doctrine qui considère l'activité de l'azote comme proportionnelle à sa quantité serait encore complétement erronée, puisqu'à égalité d'azote, et toutes choses égales d'ailleurs, l'efficacité d'un engrais varie avec la nature des composés dans lesquels l'azote se trouve engagé.

C'est ainsi que nous avons déjà vu les nitrates exercer une action plus marquée que le sel ammoniac, que la gélatine et que la graine de lupin. Aux résultats que je vous ai déjà fait connaître, permettez-moi d'ajouter les suivants, qui achèveront de vous édifier à cet égard.

ACTION COMPARÉE DE DIVERSES MATIÈRES AZOTÉES, AGISSANT AVEC LE CONCOURS DES MÊMES MINÉRAUX ET DANS LES MÊMES CONDITIONS.

Le sol reçoit 0gr,110 d'azote à l'état de

		Nitrate de potasse	Urée.	Acide urique.	Urate de chaux.	Sel ammon.	Oxalate d'ammon.
		gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Froment.	Paille.	18,50	14,14	14,50	12,20	15,10	8,50
	Grain.	4,50	4,75	4,45	3,25	4,93	2,08
	Total.	23,00	18,89	18,95	15,45	20,03	10,58
Orge.	Paille.	14,10	9,90	9,50	8,65	»	6,10
	Grain.	5,73	4,97	5,30	4,10	»	2,20
	Total.	19,83	14,87	14,80	12,75		8,30

Il est donc certain que la nature de la matière azotée exerce

(1) *Annales de chimie et de physique*, t. III, p. 69.

Digitized by Google

une grande influence sur le résultat, puisqu'à égalité d'azote la récolte peut varier du simple au double. Mais s'il en est ainsi avec des composés aussi bien définis et aussi facilement absorbables que le nitrate de potasse et l'oxalate d'ammoniaque, tous deux solubles dans l'eau, l'influence de la forme spéciale de la matière azotée se fera bien plus sentir encore lorsqu'il s'agira de composés insolubles, qui devront, avant d'agir, éprouver dans le sol une décomposition préalable dont l'activité sera nécessairement liée à la nature de la substance et aux conditions de température, d'humidité et d'aération auxquelles elle se trouvera exposée. Qui songerait à soutenir, en effet, qu'à égalité d'azote, le cuir tanné, dont la conservation dans le sol est presque indéfinie, peut exercer autant d'action que le sang desséché qui entre en putréfaction avec une si grande facilité et devient, par sa décomposition, une source abondante d'ammoniaque? Dans l'emploi de ces matières il faut, d'ailleurs, tenir compte de la perte d'azote qui résulte de la décomposition elle-même. Nous avons vu, en effet, que la graine de lupin en se décomposant dans le sol n'abandonnait guère à l'état d'ammoniaque que le quart de son azote. Un tiers environ est exhalé à l'état d'azote élémentaire, dont l'utilité est complétement nulle puisque les plantes en trouvent une source intarissable dans l'atmosphère. Le reste subsiste dans le sol à l'état de matière organique indécomposée et dont les plantes ne profiteront que dans un temps plus ou moins long. Il y a donc toujours, même en portant à l'actif de la matière azotée l'azote resté dans le sol, à tenir compte de la perte d'un tiers environ de son azote à l'état gazeux.

Concluons donc que lorsqu'on achète un engrais, s'il est utile de s'enquérir de sa teneur en azote, cette notion est, par elle-même, complétement insuffisante pour en apprécier la valeur réelle et surtout pour en prévoir d'avance les effets.

Il est rare qu'une opinion trop exclusive n'en suscite pas une autre diamétralement opposée qui en est, en quelque sorte, la négation. M. Boussingault avait exagéré le rôle et l'importance de la matière azotée, M. Liebig l'a nié complétement. Cet éminent chimiste admet, sur la foi de quelques analyses de terre exécutées à son laboratoire, que le sol renferme plus de matières azotées que n'en peut exiger la végétation, et il rapporte toute l'utilité des engrais aux substances minérales qu'ils renferment. Il est incontestable, en effet, que si l'on chauffe dans un tube de verre un mélange de terre arable avec de la chaux sodée, il se dégage de l'ammoniaque en abondance. Mais il faut remarquer que cette ammoniaque ne préexiste pas dans la terre et qu'elle provient de la destruction de produits humoïdes d'origine végétale, qui sont par eux-mêmes à peu près inertes, et dont l'azote ne peut être utilisé par les plantes qu'après une décomposition préalable dont la marche est tellement lente que la partie devenue disponible, chaque année, est bien loin de suffire aux besoins des cultures. Voici, d'ailleurs, comment s'exprime M. Liebig à l'égard des sels ammoniacaux qui sont les produits assimilables de cette décomposition : « Les sels ammoniacaux seuls » n'ont pas d'action; pour devenir efficaces ils doivent être » accompagnés de substances minérales et leur action est en » rapport, non pas avec l'ammoniaque, mais avec les sub» stances minérales (1). »

Voyons ce que l'expérience répond à cette assertion. Toutes choses égales d'ailleurs, le produit de vingt-deux grains de blé pesant 1gr,50 et cultivés dans le sable calciné sans autre addition que de l'eau distillée pure étant de 6 grammes ;

Dans le même sable additionné de tous les minéraux de la production végétale en excès, la récolte est de 8 grammes. Avec du sel ammoniac et sans minéraux, la récolte est de 9 grammes, donc les sels ammoniacaux seuls produisent, sur le froment, plus d'effet que les minéraux seuls.

Avec le concours simultané des minéraux en excès et de 0gr,060 d'azote à l'état de sel ammoniac, la récolte s'élève à 14 grammes. Donc la réunion des sels ammoniacaux aux minéraux produit un plus grand effet que chacun de ces termes pris isolément.

Enfin, le mélange précédent, dans lequel on fait entrer 0gr,110 d'azote au lieu de 0gr,060, donne 25 grammes de récolte. Donc l'action des sels ammoniacaux, employés concurremment avec les matières minérales, n'est point proportionnelle à la quantité de ces dernières, mais bien à celle de l'ammoniaque, et cette dernière conclusion restera vraie tant que les matières minérales seront en excès, et que la proportion d'azote employée ne dépassera pas elle-même le besoin maximum des plantes.

Vous le voyez, messieurs, ces doctrines étaient prématurées. Elles renfermaient une certaine dose de vérité puisqu'elles étaient parties de faits exacts, mais, prises dans leur ensemble, elles s'évanouissent comme toutes les fixions au premier examen de l'expérience. Leurs auteurs mêmes paraissent d'ailleurs l'avoir compris, car, dans leurs publications récentes, ils semblent faire de nouveaux efforts pour arriver à des doctrines plus complètes et plus satisfaisantes, et si leurs idées ne sont pas encore arrivées à se confondre avec les nôtres, cela tient uniquement à ce qu'ils se refusent à admettre, malgré nos démonstrations péremptoires, l'intervention de l'azote élémentaire de l'air, qui est la vérité fondamentale de la question et à la faveur de laquelle la théorie générale de l'assimilation de l'azote s'éclaire pour nous d'une pleine lumière et peut être en définitive formulée dans le petit nombre de propositions suivantes :

1° Toute plante qui se développe régulièrement devient, à un moment donné, capable de s'assimiler l'azote élémentaire de l'air et la majeure partie de l'azote des cultures n'a pas d'autre origine.

2° Pour atteindre au moment où ses organes sont assez développés pour pouvoir opérer cette assimilation, la plante a besoin de trouver à sa portée de l'azote sous une forme plus facilement assimilable.

3° Certaines plantes, notamment certaines légumineuses, trouvent dans leurs graines une dose d'azote suffisante pour parvenir au moment où elles s'assimilent celui de l'air. Ces plantes n'ont besoin d'aucun engrais azoté.

4° D'autres plantes ne trouvent pas dans leurs semences des quantités suffisantes d'azote, et c'est pour celles-ci que les engrais azotés se montrent efficaces. Ils leur permettent de franchir l'espace qui s'écoule entre l'absorption complète de l'azote de la semence et le moment où commence l'assimilation de l'azote atmosphérique.

Parmi ces dernières les unes, comme les céréales, ne parviennent que fort tard à s'assimiler l'azote de l'air, aussi demandent-elles la plus grande partie de cet élément au sol ou aux engrais; les autres, comme le colza et la betterave arrivant beaucoup plus rapidement à s'alimenter aux dépens

(1) Liebig, *Principes de chimie agricole*, p. 46.

Digitized by Google

de l'atmosphère, contiennent toujours un excédant d'azote important sur celui qu'elles ont tiré du sol.

5° L'agriculture n'a point à se préoccuper de fournir au sol sous forme de produits azotés la totalité de l'azote que les cultures doivent contenir, mais seulement la quantité nécessaire pour les amener, suivant leur nature, au moment où elles s'alimentent dans l'atmosphère.

6° Parmi les composés azotés qui peuvent être employés dans ce but, se recommandent, en première ligne, les nitrate et les sels ammoniacaux. Quant aux matières organiques azotées de toutes provenances, elles ne sont être utiles que les par les sels ammoniacaux où par les nitrates qu'elles peuvent engendrer, sels dont la quantité peut tout au plus répondre aux deux tiers de l'azote qu'elles renferment.

7° Pour être utile à l'agriculture, le dosage de l'azote des engrais au moyen de la chaux sodée, devrait être complété par celui de l'acide nitrique et par celui de chacun des principes minéraux dont nous constaterons l'utilité dans la seconde partie du cours.

8° Enfin, l'analyse ne devrait pas se borner à faire connaître la quantité d'azote contenu, mais encore la nature particulière des composés dans lesquels cet élément se trouve engagé.

Dans la prochaine séance nous traiterons de l'assimilation de l'hydrogène, de l'oxygène et du carbone.

H. JOULIE, pharmacien en chef de l'hôpital Saint-Antoine.

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS.

PHYSIQUE MÉDICALE.

COURS DE M. GAVARRET.

De l'atmosphère (suite).

Influence de la pression atmosphérique. — L'atmosphère exerce une pression sur tous les corps qui sont à la surface de la terre, la hauteur de la colonne barométrique représente la valeur de cette pression; variable avec les circonstances météorologiques, elle est en moyenne de 1033 grammes par centimètre carré. Comme tous les animaux, l'homme subit cette pression; la surface du corps de l'homme adulte peut être estimée à 17 500 centimètres carrés; la pression totale supportée par l'homme est donc à peu près de 18 077 kilogrammes. Cette pression ne peut être assimilée ni à un fardeau à supporter, ni à un poids à soulever; elle s'exerce dans tous les sens, dans toutes les directions, et, quelle que soit son intensité, elle ne peut créer ni une charge pesant sur le corps de l'homme, ni une gêne s'opposant à la liberté de ses membres. Ainsi, pour prendre un exemple, supposons la main horizontale; la pression supportée par la face dorsale sera équilibrée par la pression égale agissant en sens contraire sur la face palmaire.

La pression atmosphérique, s'exerçant sur l'homme dans toutes les directions, tend à refouler les parties situées à l'extérieur; elle est contrebalancée par l'incompressibilité des liquides qui baignent tous nos tissus et par la tension des gaz et des vapeurs situés dans les cavités splanchniques. Il arrive alors que si l'on soustrait une partie du corps à l'influence de cette pression, si l'on fait le vide sur cette partie, la peau est refoulée au dehors par les pressions internes, dès lors les liquides, dans les vaisseaux, ne supportant plus les mêmes pressions, viennent congestionner les tissus qui se trouvent les moins comprimés: telle est la théorie de la ventouse. Mais dans le cas où l'on soumet l'homme à une diminution de la pression atmosphérique, rien de semblable ne se passe, les vaisseaux restent également pressés dans toute l'économie; il ne se produit qu'un léger gonflement, dû à l'expansion des gaz contenus dans les cavités closes.

A ce sujet, je tiens à vous entretenir des phénomènes qui se produisent lors de la pénétration de l'air atmosphérique dans les cavités pleurales à la suite des plaies de poitrine. Dans l'état normal la plèvre viscérale qui entoure le poumon se trouve maintenue appliquée contre la plèvre costale. L'air s'introduit dans le poumon par la bouche, les fosses nasales et la trachée-artère; il exerce une pression de dehors en dedans, de manière que le poumon est obligé de suivre les mouvements d'ampliation et de rétrécissement de la cage thoracique. Dès qu'une ouverture est faite et qu'une communication libre et facile peut s'établir entre l'air extérieur et la cavité pleurale, la pression atmosphérique s'exerce par la plaie de dehors en dedans avec la même intensité que de dedans en dehors par la trachée-artère; et la plèvre viscérale, placée entre deux forces égales et de sens contraires, reste en équilibre dans l'état où elle a été surprise. Cette plèvre ne peut donc plus suivre les mouvements de la cage thoracique, parce que la pression intérieure est contrebalancée par la pression extérieure. Mais la pression extérieure est également équilibrée par la pression intérieure et ne peut non plus en aucune façon refouler le parenchyme pulmonaire de dehors en dedans vers les parties postérieures de la cavité thoracique. L'expérience démontre cependant, qu'en pareil cas, le poumon se retire, prend des dimensions de plus en plus petites et s'applique de chaque côté contre la colonne vertébrale. M. le professeur Bérard a conclu, avec raison, de ce fait, que l'ouverture de la poitrine était l'occasion et non la cause de ce phénomène, et que la diminution de volume des poumons était due à une véritable propriété rétractile du tissu de l'organe.

La pression atmosphérique est variable dans un même lieu, elle est moyennement à Paris de 756 millimètres. Le maximum de pression qui ait été observé dans cette ville a eu lieu en 1821; la hauteur de la colonne barométrique a atteint alors 781 millimètres; en 1822, elle est descendue à 713 millimètres. En calculant la valeur des pressions par centimètre carré, la moyenne correspond à 1028 grammes, la pression maxima à 1052 grammes et la pression minima à 970 grammes.

La pression totale exercée sur la surface du corps de l'homme est alors pour la pression moyenne 17 990 kilogrammes, pour la pression maxima 18 410 kilogrammes, et pour la pression minima 16 975 kilogrammes. Tels sont les extrêmes des variations de pression auxquelles l'homme a été exposé à Paris. Ces variations de pression ne sont pas excessives; il suffit de voyager dans le centre de la France, de gravir les montagnes de l'Auvergne, pour supporter des variations de pression bien plus considérables. Avant de faire l'étude de ces variations de pression et des effets produits sur l'économie par l'altitude, il me reste à vous entretenir du rôle exercé par la pression

(1) Voyez le numéro précédent.

Digitized by Google

atmosphérique dans le mécanisme des membres inférieurs de l'homme.

L'articulation du membre inférieur avec le bassin est formée par la tête du fémur ayant la forme d'une demi-sphère qui se trouve reçue dans la cavité cotyloïde également hémisphérique. Entre la tête du fémur et la cavité cotyloïde, il existe, à l'état frais, un affrontement tellement complet des deux surfaces, qu'on peut couper les ligaments et les muscles qui entourent l'articulation, sans détruire l'adhérence existant entre la tête du fémur et la cavité cotyloïde. La cause de cette adhérence est la pression atmosphérique qui, s'exerçant sur la tête du fémur, la maintient étroitement appliquée contre le fond de la cavité. La vérification expérimentale de ce fait est facile à répéter, car il suffit, après avoir coupé les ligaments, de perforer avec un stylet la surface articulaire pour que, quelques bulles gazeuses pénétrant, la tête du fémur se détache aussitôt. Ce fait est d'une grande importance, il nous montre que, pendant la marche, la contraction musculaire n'est pas obligée d'entrer en jeu pour retenir le membre qui oscille comme un pendule et reste soutenu par la pression atmosphérique sans exiger la moindre fatigue.

Lorsqu'on étudie l'influence des altitudes sur l'économie, il faut savoir que la pression atmosphérique n'est pas seule à agir, que la température s'abaisse considérablement, et que par suite de la raréfaction de l'air l'évaporation devient plus rapide. Nous savons qu'il y a des gaz dissous dans le sang, et que la quantité absolue de ces gaz dépend de la pression extérieure. Si la pression diminue, ces gaz tendent à se dégager du liquide sanguin et exercent, sur les parois des vaisseaux, une pression de dedans en dehors.

C'est dans les ascensions en ballon que se montre bien nettement, dégagée de toute complication, l'influence de la variation brusque de la pression atmosphérique. Ce mode d'expérimentation est pleinement satisfaisant ; l'aéronaute ne fait pas d'effort, ne produit pas de travail, c'est une force extérieure qui l'emporte. Il y a des voyages célèbres qui ont été faits par de savants expérimentateurs, par conséquent les observations ne manquent pas.

En 1804, MM. Biot et Gay-Lussac, vers la fin d'août, s'élevèrent en peu de temps à une hauteur de 3898 mètres ; ils éprouvèrent seulement une accélération du pouls ; leur respiration ne fut nullement gênée ; ils ne ressentirent aucun autre malaise. — Quelques semaines plus tard, Gay-Lussac fit seul une nouvelle ascension. Parti à neuf heures du matin, par une température de 27°,75, il s'éleva en trois heures onze minutes à la hauteur de 7016 mètres. Le thermomètre s'abaissa jusqu'à — 9°,5. Gay-Lussac éprouva un froid considérable aux mains, son pouls s'accéléra et donna 120 pulsations au lieu de 66 qu'il donnait à l'état normal ; la respiration devint gênée en même temps qu'une grande sécheresse se fit sentir à la gorge. A cette grande hauteur, le ciel prend une teinte bleue très-foncée tirant sur le noir ; c'est qu'il n'y a plus de lumière diffuse renvoyée par les poussières qui se trouvent dans les couches inférieures de l'atmosphère. Gay-Lussac, au milieu d'un silence absolu, put jouir d'un des plus beaux spectacles qu'il soit donné à l'homme de contempler : il vit en même temps le soleil et les étoiles brillant de leur plus bel éclat.

Les phénomènes éprouvés par Gay-Lussac, difficulté de respirer, accélération du pouls, pouvaient être prévus à l'avance. D'abord, il faut remarquer que Gay-Lussac fut transporté en peu de temps dans un milieu où la pression était moitié moindre, le baromètre ne marquait plus que 329 millimètres. L'air étant moins dense, il en résulte qu'une moins grande proportion d'oxygène était mise en rapport avec le sang et pour que l'hématose fût complète, il était nécessaire que les mouvements respiratoires fussent accélérés. — On trouve une nouvelle confirmation de ces observations dans la relation du voyage aérostatique de MM. Barral et Bixio, qui eut lieu le 27 juillet 1850 à quatre heures du soir ; à quatre heures cinquante minutes, le ballon oscillait entre 7016 mètres et 6753. Nos doigts sont roidis par le froid, disent les aéronautes, mais nous n'éprouvons aucune douleur d'oreilles et la respiration n'est nullement gênée.

Ainsi donc l'homme peut s'élever rapidement à une hauteur de 8000 mètres sans éprouver d'accidents graves. — Il y a une autre ascension célèbre qui a été faite en septembre 1862 par Glossher. Ce physicien s'éleva à la hauteur de 10 000 mètres ; le thermomètre descendit jusqu'à 38 degrés au-dessous de zéro. Glossher s'évanouit et faillit périr avec son compagnon. — Nous pouvons donc tirer de ces résultats les conclusions suivantes : c'est que, jusqu'à une hauteur de 7 à 8000 mètres, malgré une variation brusque de pression, les phénomènes éprouvés ne sont pas graves, l'équilibre des gaz s'établit rapidement ; au delà les accidents éprouvés deviennent dangereux et la vie ne paraît plus possible.

Il nous reste à examiner ce qui arrive lorsque l'on monte à pied sur une montagne ; les récits des voyageurs sont tous parfaitement d'accord sur les phénomènes éprouvés. On peut les résumer de la façon suivante en les groupant par appareil.

Respiration. — La respiration est accélérée, gênée, laborieuse ; on éprouve une dyspnée extrême au moindre mouvement.

Circulation. — La plupart des voyageurs ont noté les palpitations, l'accélération du pouls, les battements des carotides, une sensation de plénitude des vaisseaux, parfois l'imminence de suffocation, des hémorrhagies diverses.

Innervation. — Céphalalgie très-douloureuse, somnolence parfois irrésistible, prostration morale, hébétude des sens.

Digestion. — Soif, vif désir de boissons froides, sécheresse de la langue, inappétence pour les aliments solides, nausées, éructations.

Du côté des organes qui servent à la locomotion, on ressent des douleurs sourdes, particulièrement dans les hanches, dans les genoux, la marche devient plus difficile. Nous nous rendrons parfaitement compte de ces derniers accidents en nous rappelant quelle est l'influence de la pression atmosphérique pour retenir la tête du fémur dans la cavité cotyloïde. La pression extérieure étant diminuée ne peut plus faire équilibre au poids du membre inférieur ; toutes les fois que le pied quitte le sol, la tête du fémur, entraînée par le poids de la jambe et de la cuisse, tend à quitter le fond de la cavité articulaire. Dès lors les muscles doivent entrer en jeu pour s'opposer à cette tendance au déplacement des surfaces articulaires, ce qui est une cause puissante de fatigue, à laquelle vient s'ajouter, pendant la marche, l'effort nécessaire pour soulever le poids du corps. Tous ces accidents ne sont pas ressentis par l'aéronaute, qui s'élève paisiblement dans son ballon, même à une hauteur bien supérieure, puisque le sommet du mont Blanc est à 4810 mètres au-dessus du niveau de la mer. Il est donc incontestable que la dépense considérable de forces faite par le voyageur qui marche, doit être la cause première de tous ces accidents.

Digitized by Google

Or, l'homme qui gravit à pied une montagne fait un travail ; il transporte son propre poids à une hauteur égale à celle de la montagne. Pour bien fixer nos idées à cet égard, considérons un homme du poids de 75 kilogrammes, et supposons qu'il s'élève à une hauteur de 2000 mètres. Le travail qu'il aura effectué en élevant son poids à cette hauteur, sera représenté par 150 000 kilogrammètres. Nous savons que la transformation de la chaleur en force mécanique s'opère par voie d'équivalence, à raison d'une unité de chaleur ou calorie pour 425 kilogrammètres. D'autre part, l'intensité des combustions respiratoires augmente proportionnellement à la dépense de forces, mais la légère élévation de température qu'éprouve le corps est loin de représenter la totalité de la chaleur développée par cet accroissement de combustion. Cette portion de la combustion respiratoire, qui ne se traduit pas par un effet thermique, est la véritable source de la force mécanique développée par l'homme, comme l'ont établi les travaux de MM. Hirn et Béclard. L'homme qui a effectué un travail utile de 150 000 kilogrammètres a donc dépensé 353 unités de chaleur, qui, fournies par les combustions respiratoires sans produire d'effet thermique, ont été transformées tout entières en force mécanique. Les huit dixièmes de cette chaleur transformée provenant de la combustion du carbone, il en résulte que la force mécanique, correspondant au travail utile accompli pendant l'ascension, nécessite la production de 65 litres d'acide carbonique, indépendamment des 22 litres de gaz que l'homme forme par heure pour maintenir sa température propre. Le sang se trouve donc surchargé d'acide carbonique, et les conséquences d'une telle production de ce gaz se présentent d'elles-mêmes. Les mouvements respiratoires et circulatoires prennent une activité considérable pour suffire à l'absorption de l'oxygène nécessaire à des combustions si actives et pour débarrasser le sang de l'excès d'acide carbonique qu'il contient.

Lorsque la marche est lente, la force dépensée dans un temps donné est faible, et les troubles fonctionnels ne sont pas considérables. Si l'ascension s'opère rapidement, l'exhalation gazeuse, bien que très-activée, ne suffit plus pour maintenir la composition normale du sang, qui reste sursaturé d'acide carbonique ; alors on éprouve les accidents dus à l'intoxication par l'acide carbonique : dyspnée, céphalalgie, vertiges, somnolence. Une halte de quelques instants, comme on l'observe, suffit pour faire disparaître ces accidents ; c'est qu'alors, toute dépense de force cessant, l'activité des combustions respiratoires s'abaisse rapidement, la production d'acide carbonique n'est plus que ce qu'elle est à l'état normal, le sang se débarrasse très-vite de l'excès d'acide carbonique qu'il contenait, tous les troubles des fonctions respiratoire et circulatoire disparaissent en même temps et ne laissent d'autre traces qu'un peu de fatigue.

Dans tout ce qui précède, nous avons supposé que toute la force dépensée par l'ascension était représentée par le travail utile accompli, c'est-à-dire par le produit du poids du corps du voyageur par la hauteur d'ascension ; mais il n'en est certainement pas ainsi. Sur ces pentes escarpées où le sol se dérobe à chaque instant sous ses pas, sur ces vastes champs de glace où son pied est mal assuré, l'homme, pour s'élever sur le flanc des montagnes, dépense une quantité de force mécanique bien supérieure au travail utile accompli, et, pour être dans le vrai, il faut certainement doubler le nombre représentant l'acide carbonique produit. Nous sommes donc autorisés à dire que tous les troubles fonctionnels qui caractérisent le mal des montagnes doivent être rapportés à une véritable intoxication par l'acide carbonique ; c'est la même cause qui produit les accidents graves observés chez les animaux surmenés.

La preuve que la diminution de pression n'est pas la cause réelle de tous ces troubles, c'est que l'homme à l'état normal peut vivre à des hauteurs considérables. Il ne faut pas croire, en effet, que la dissolution de l'oxygène dans le sang soit un fait purement physique, et que, la pression diminuant, la quantité de gaz dissous varie dans la même proportion ; il faut se rappeler que, dans le poumon, l'oxygène entre en combinaison avec les globules ; il y a donc là une action chimique indépendante de la pression. Quelques exemples nous suffiront pour montrer combien, sous le rapport de la pression atmosphérique, sont variées les conditions au milieu desquelles l'homme peut vivre.

Lieux.	Hauteur barométrique. mill.	Pression par centimètre carré. gr.
Bords de la mer	760	1033
Paris	756	1028
Mexico	583	793
Quito	553	752
Antisana	470	639

Les hauts plateaux de Quito, situés à 3000 mètres au-dessus du niveau de la mer, sont habités et cultivés par des populations sédentaires qui y naissent et y accomplissent les diverses phases de leur existence. M. Boussingault rapporte qu'un combat célèbre, celui de Pichincha, s'est livré à une hauteur peu différente de celle du mont Rose (4736 mètres). Tous ces exemples prouvent péremptoirement que l'homme peut s'habituer à respirer l'air raréfié des plus hautes montagnes. Sans doute, lorsqu'un habitant des pays peu élevés au-dessus du niveau de la mer est transporté à ces hauteurs, il lui faut un certain temps d'acclimatation pour arriver à harmoniser ses fonctions avec les nouvelles conditions ambiantes ; mais il ne faut pas croire qu'il subira nécessairement des accidents semblables à ceux qu'éprouve le voyageur gravissant péniblement une montagne élevée.

Dr E. Morin, préparateur du cours, pharmacien en chef à l'hôpital de Lourcine.

CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS.

CHIMIE AGRICOLE (1).

COURS DE M. BOUSSINGAULT
(de l'Institut).

Circulation chez les végétaux. — Sève ascendante et sève descendante.

Le liquide de la terre pénètre dans les racines par leurs extrémités. De celles-ci il monte de proche en proche, jusqu'à ce qu'il arrive à la tige où son mouvement ascensionnel doit continuer. Ce liquide n'a pas, comme dans l'expérience de l'endosmose, perdu de sa densité à mesure qu'il augmente en masse et monte par conséquent ; au contraire, agissant sur les matières qu'il trouve sur sa route, il dissout une portion

(1) Voy. les numéros 1, 2 et 6.

Digitized by Google

de celles qui étaient à l'état solide, et tend ainsi à s'épaissir de plus en plus. Modifié de la sorte à son entrée dans le végétal, il a pris le nom de *séve*. Si, à diverses hauteurs d'un arbre, on perfore profondément son tronc, qu'on introduise un tube dans chaque trou, et qu'on recueille séparément la séve qui s'écoule de ces divers canaux, on pourra se convaincre qu'elle est d'autant plus dense qu'elle a été prise plus haut. On a fait l'observation suivante sur un platane :

	Poids du litre.
	gr.
Séve prise au bas du tronc	1004
— à 2 mètres de hauteur	1008
— à 4 mètres de hauteur	1012

La séve descendante contient des principes azotés, et comme nous avons vu que les feuilles ne s'assimilaient pas l'azote libre de l'air, il faut que la séve ascendante contienne des principes azotés. L'analyse a montré qu'elle renferme des sels ammoniacaux, des nitrates, des carbonates, des phosphates de chaux, et des sels alcalins. La séve ascendante acquiert des propriétés nouvelles en arrivant dans les feuilles; elle devient alors la séve descendante, ou la séve élaborée. Cette séve peut être laiteuse, gommeuse, résineuse, sucrée, etc.

Séves laiteuses. — Ces séves ont l'apparence du lait, elles doivent cet aspect lactescent à des globules de matières insolubles tenus en suspension dans un liquide.

Séve du Carica papaya. — Cet arbre croît dans les régions tropicales. Le suc qu'on extrait du fruit est blanc et visqueux. Il renferme de l'eau en grande proportion, une substance qui a les caractères de l'albumine des animaux et une matière grasse. Le lait qu'on extrait du tronc de l'arbre a une odeur nauséabonde. Il contient une matière animale comparable à la fibrine, du sucre, de la résine, et de la cire en petite quantité. Ce lait est employé par les habitants de ce pays à quelques usages médicaux.

Séve de l'Hevea. — L'*Hevea* ou arbre à caoutchouc est commun au Choco, et dans les forêts de l'Équateur. Les Indiens, pour extraire le caoutchouc, incisent l'arbre jusqu'au dessous de l'écorce, il en sort alors un lait abondant qu'ils recueillent. Exposé à l'air, l'oxygène de l'air agit sur cette séve laiteuse, qui se coagule et devient élastique. Dans la Guyane, les Indiens façonnent le caoutchouc sous forme de poires communes dans le commerce. Pour cela ils font des moules de terre, puis ils les trempent dans le lait fraîchement extrait de l'arbre : une mince couche se dépose et se coagule rapidement; ils continuent ainsi pendant un certain temps; ensuite ils cassent le moule intérieur et retirent les fragments. Les ouvriers de Guitto sont fort habiles pour travailler le caoutchouc, ils en font des souliers et des bottines, en appliquant sur des moules ce suc laiteux. Les Indiens de Choco abattent l'arbre, et recueillent le lait qui coule par torrents dans de grands moules de bois. On rencontre dans la vallée de la Magdalena, des arbres qui ne sont ni l'*Hevea*, ni le *Jatropha*, et qui produisent aussi une séve coagulable qui peut être confondue avec la gomme élastique. L'analyse de la séve de l'*Hevea* et du *Jatropha elastica* a donné les principes suivants :

Caoutchouc	32
Viande végétale et phosphate	2
Glycose, sucre	3
Matière organique soluble	7
Eau	56
	100

Séves gommeuses. — On place dans cette division la séve des arbres qui donnent de la gomme par l'incision de leur tronc : comme l'*Acacia arabica* dont on extrait la gomme arabique.

Séves sucrées. — Les séves sucrées ont à peu près la même composition; la différence qui existe entre elles, c'est que tantôt la résine domine, tantôt la matière grasse. La canne à sucre, *Arundo saccharifera*, est une graminée qui contient plus de sucre et moins de matières étrangères que les autres plantes saccharifères. Voici la composition moyenne de cette séve sucrée :

Sucre	19,0
Albumine	1,1
Matière grasse	0,4
Phosphate de chaux	0,6
Eau	78,9
	100,0

La canne à sucre met douze à quinze mois à prendre son développement, elle a la forme d'une tige ronde droite, de 3 à 4 mètres de hauteur, et de 3 à 4 centimètres de diamètre. Elle porte des nœuds séparés régulièrement les uns des autres, par une distance de 8 à 12 centimètres. De son sommet s'élance une flèche allongée, terminée par des fleurs sous forme d'une panicule argentée. Pour faire la récolte, on coupe la tige très-près de la racine, on lui enlève la flèche, les feuilles et les nœuds du haut, puis on la soumet à l'action lente et croissante d'une presse mue par l'eau, le vent ou la vapeur. On peut obtenir 60 kilogr. de jus pour 100 kilogr. de canne. La *séve de l'érable* contient une quantité considérable de sucre. Au Canada, j'ai vu exploiter cette séve pour en retirer du sucre identique avec celui de la canne à sucre : on fait des incisions au tronc, et l'on recueille au printemps jusqu'à 10 litres de liquide par jour. Cette séve est soumise à la fermentation, pour préparer des liqueurs vineuses.

Séve du Cocos butyracea (*palma de vino*). — Cet arbre est très-commun dans la vallée de Rio-Grande. Cette séve contient du sucre, une matière azotée et quelques sels solubles. En faisant fermenter cette séve, on obtient une liqueur vineuse qui renferme assez d'alcool pour être enivrante. Les naturels abattent le palmier et lui donnent une certaine inclinaison du sommet vers le pied. Ils creusent, à la base du tronc, un trou d'une capacité de 8 à 10 litres. Cette cavité se trouve remplie après dix heures environ, d'un liquide d'une odeur vineuse, et d'une saveur aigrelette, due à la présence de l'acide carbonique qui se dégage en abondance. Un palmier de 20 à 25 mètres de hauteur, et de 50 à 60 centimètres de diamètre à la base, produit de 12 à 18 litres de vin en vingt-quatre heures, durant dix à douze jours. Le sucre n'est pas la seule substance que donne le palmier. Il en est plusieurs qui étonnent, par le grand nombre et l'utilité de leurs produits. Ce n'est pas sans motifs que les missionnaires ont désigné le palmier sous le nom de l'arbre de la Providence, de *pain de la vie*. Tel est surtout le *Cocos mauritia*, que l'on trouve dans les savanes de l'Apure et de l'Orénoque. Les jeunes pousses servent d'aliments; les fruits sont farineux et donnent de l'huile lorsqu'ils sont parvenus à maturité, les parties fibreuses servent à fabriquer des hamacs et des toiles; les feuilles sont employées à la confection des chapeaux, des nattes et des voiles pour les bâtiments; l'enveloppe du fruit permet aux indiennes de se procurer un vêtement qui n'exige aucune façon; la séve fermentée donne du vin, et le tronc

Digitized by Google

renferme une moelle amylacée dont on fait du pain. Cette moelle est un milieu très-propre au développement de certains insectes que les Indiens regardent comme un met des plus délicats; enfin, la charpente ligneuse est un excellent bois de construction.

Séve résineuse. — Dans les landes de Bordeaux, le pin maritime produit une séve résineuse très-exploitée. Lorsque l'arbre est parvenu à l'âge de trente ou quarante ans, on pratique des incisions à la partie inférieure du tronc, ces incisions doivent être renouvelées une ou deux fois par semaine. Un pin peut produire de la térébenthine pendant soixante ans. Cette substance se rassemble dans une cavité établie dans le sol. La térébenthine brute contient toujours des matières étrangères, on la purifie en la rendant fluide par la chaleur et en la filtrant chaude sur de la paille. Par la distillation, on obtient une huile essentielle qui se condense dans le réfrigérant, et de la colophane qui reste dans la cucurbite.

Résinage à l'âge de trente ou quarante ans, de 1 hectare de pins pendant 180 jours, de février en novembre :

Galipot (résine fluide).....	500 kil.
Barras (résine concrète).....	180
Total.....	680 kil.

Ces 680 kilogr. représentent une valeur de 113 francs; il y a 50 francs de frais d'extraction.

100 kilogr. de galipot donnent à la distillation :

Essence de térébenthine..... ...	10 kil.
Arcanson	63
Eau.....	27
Total.....	100 kil.

Séve laiteuse de l'Hura crepitans. — Le suc de cet arbre est justement redouté : les émanations suffisent pour indisposer d'une manière très-grave. On l'emploie fréquemment pour pêcher en empoisonnant l'eau des rivières. Ce lait ressemble à celui de l'arbre de la vache. Il n'a pas d'odeur, et sa saveur, peu marquée d'abord, fait bientôt éprouver une irritation très-forte. Le suc laiteux de cet arbre contient : 1° Une matière azotée analogue au gluten ou caséum. 2° Une huile vésicante. 3° Une substance cristallisée ayant une réaction alcaline. 4° Du nitrate de potasse. 5° Du malate de potasse. 6° Un principe azoté odorant.

J'ai éprouvé l'action dangereuse de cette substance : lorsque nous examinâmes le lait de l'*Hura crepitans*, M. de Rivero et moi, nous fûmes atteints d'érysipèle; le mal persista pendant plusieurs jours. Le lait avait été envoyé de Gauaduas par le docteur Boulin, le courier qui l'apporta fut gravement incommodé, et sur la route, les habitants des maisons où le messager avait logé, éprouvèrent les mêmes accidents.

La séve descendante du *maracure*, renferme aussi un poison très-actif dont les Indiens se servent pour empoisonner leurs flèches. Le maracure est une liane, du genre *Strychnos*, qui croît sur les bords de l'Orénoque, du rio Negro, et du fleuve Amazone. Les Indiens, pour préparer le curare, râpent l'écorce de l'arbre, construisent un entonnoir avec une feuille d'arbre dans laquelle ils placent la matière qui contient le poison, puis ils font couler un filet d'eau qui entraîne le curare. Ils concentrent ce liquide, qui de jaunâtre devient noirâtre, ils y ajoutent une séve gommeuse pour donner plus de consistance; ensuite ils trempent leurs flèches. La blessure d'une flèche ainsi préparée est mortelle, car mis en contact avec le tissu sous-cutané, ou injecté dans les vaisseaux sanguins d'un animal, le curare tue presque instantanément et sans souffrance apparente. Le curare peut néanmoins être avalé sans danger; car il paraît qu'il n'exerce aucune action délétère sur le tube digestif, ainsi que sur les autres muqueuses, excepté celles des voies aériennes. On s'en sert avec succès pour combattre l'épilepsie, et si l'on n'a pas de blessure dans la bouche, on peut en prendre jusqu'à 1 décigramme. On comprend comment le gibier tué avec ces flèches peut sans danger servir de nourriture. M. Claude Bernard, a montré qu'un animal empoisonné par le curare mourait par la suppression des propriétés des nerfs moteurs (1). On a d'abord pensé que le curare des Indiens devait contenir du venin d'un animal : j'ai appris d'un Indien qui préparait ce poison que son action était due à la séve seule de cette liane.

J'ai vu préparer ainsi un poison terrible provenant de la sécrétion d'un animal. C'est un batracien, petit, noir, et rayé de rouge. On embroche plusieurs de ces animaux avec une aiguille de bois, puis on les approche du feu, on voit alors suinter de leur corps une matière huileuse, dans laquelle les Indiens trempent leurs flèches.

Nous avons admis une séve ascendante et une séve descendante; cherchons la preuve de cette circulation. Des expériences faites en 1709 établissent que la séve monte dans les végétaux par la partie ligneuse, et non par la moelle. Si l'on met une branche d'arbre fraîchement coupée dans un liquide coloré, on constate après un certain temps qu'il y a ascension du liquide et coloration du ligneux. M. Boucherie a profité de ce phénomène d'ascension pour introduire dans l'intérieur des bois différentes substances, afin de les conserver ou de les colorer. M. Boucherie est parti de cette idée, que toutes les altérations que présentent les bois, proviennent des matières solubles qu'ils renferment. Il fallait donc rendre insolubles et inertes ces mêmes matières. Le pyrolignite de fer a paru réunir toutes les conditions désirables. La force qui détermine l'ascension de la séve pendant la vie d'un arbre ne persiste que durant un certain temps après son abattage. On coupe l'arbre, et l'on plonge le pied en saison convenable dans une solution faible ou concentrée d'un liquide qui pénètre dans son tissu, parvient aux points les plus élevés de sa tige, et même jusqu'aux feuilles terminales. On a, par ce moyen, introduit dans les bois du sulfate de cuivre qui empêche celui-ci de s'altérer par l'effet de l'humidité, et l'on a ainsi coloré de nuances variées et très-vives le ligneux de certains arbres.

La séve élaborée suit une direction contraire à celle de la séve ascendante, il y a un flux du haut vers le bas. Si l'on coupe transversalement une tige, on voit que la surface inférieure de la section fournit très-peu de suc comparativement à la supérieure. Si l'on enlève un anneau circulaire d'écorce, on voit le sucre suinter et s'amasser sur le bord supérieur de la plaie, et non sur l'inférieur. Si l'on pratique une ligature bien serrée autour de la tige, on voit, au bout d'un certain temps, l'écorce se gonfler, et former un bourrelet au-dessus de la ligature, et la tige au-dessous conserver son diamètre primitif. Il y a donc une circulation de la séve, qui d'ascendante devient descendante. — Henri Amaury.

(1) Voy. le cours de *Médecine expérimentale* de M. Claude Bernard, dans la deuxième année de la *Revue des cours scientifiques*.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE — NUMÉRO 9 — 27 JANVIER 1866

Paris, 26 janvier 1866.

Nos lecteurs se souviennent sans doute des diverses notes présentées depuis quelques mois à l'Académie des sciences, par M. Victor Meunier, et discutant les résultats obtenus par M. Pasteur dans ses expériences relatives aux générations spontanées. La dernière de ces notes, présentée par M. Fremy, avait suscité, à huit jours de distance, une réponse fort vive de M. Pasteur. C'est à cette réponse que M. Victor Meunier a répliqué dans la séance de lundi dernier par une lecture assez longue, dont la forme était d'une vivacité et d'une acrimonie bien plus grandes encore que celle des paroles de M. Pasteur. Le président ayant invité M. Victor Meunier à abréger sa lecture, vu l'heure avancée, M. Dumas est intervenu en disant que l'Académie écoutait, et M. Victor Meunier a pu continuer; mais quelques instants après il était interrompu par de violents murmures de désapprobation, émanant d'une douzaine d'académiciens; l'un d'eux s'est même écrié qu'il fallait ôter la parole à l'orateur, et le général Morin a ajouté qu'on devait être poli quand on s'adressait à l'Académie. Enfin, M. Victor Meunier a pu terminer la lecture de son mémoire qui a été renvoyé à l'examen de la commission des générations spontanées. On dit que M. Victor Meunier sera mis très-prochainement en mesure de répéter ses expériences devant cette commission.

M. Delaunay ayant présenté il y a quelque temps à l'Académie un mémoire sur le ralentissement du mouvement de la terre relativement à son influence sur les variations du mouvement moyen de la Lune, M. Bertrand a traité au même point de vue et calculé l'influence qu'exercent, par leur réaction sur la lune, les protubérances liquides soulevées à la surface des mers terrestres par ce satellite et constituant le phénomène des marées. M. Delaunay répond qu'il avait bien pensé à cette réaction, mais qu'elle produit, comme le montre du reste M. Bertrand, un effet inverse à celui qu'il s'agissait d'expliquer.

M. H. Sainte-Claire Deville a présenté un nouveau travail de M. Schœlsing, relatif aux applications que pourrait recevoir dans l'industrie les récentes recherches exécutées par ce chimiste sur la chaleur développée par la combustion du gaz d'éclairage dans certaines conditions.

Citons enfin deux notes de M. Pelouze, la première, relative à l'action des sulfures solubles sur les sels de chaux et de magnésie, la seconde concernant les sulfures de calcium et de magnésium.

La seconde série des soirées scientifiques de la Sorbonne suivra la première sans interruption, et commencera le 16 février prochain. Voici la liste des conférences de cette seconde série :

16 février. — M. Jamin, professeur à la Sorbonne et à l'École polytechnique : De la foudre.

23 février. — M. Lespès, professeur à la Faculté des sciences de Marseille : Des fourmis.

2 mars. — M. Péligot (de l'Institut), professeur au Conservatoire des arts et métiers : De l'air.

9 mars. — M. P. Bert : Du système nerveux.

16 mars. — M. Lissajoux : Les radiations solaires.

13 avril. — M. Bureau : De la flore française à l'époque houillère.

20 avril. — M. Boutan : De la glace.

E. A.

SOIRÉES SCIENTIFIQUES DE LA SORBONNE.

CONFÉRENCE DE M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE.

Historique des machines à vapeur.

Mesdames, messieurs,

C'est la première fois que la mécanique figure dans ces conférences, et c'est à elle une grande témérité, car elle se produit devant un auditoire qui n'attend certes pas qu'on le fatigue par d'arides démonstrations. Or, que devient la mécanique si on la dépouille de l'examen attentif et minutieux des détails qui la constituent? Il m'a semblé, messieurs, que le meilleur moyen de donner de l'intérêt à la description de la machine à vapeur était d'en emprunter une partie à l'histoire et d'évoquer devant vous le souvenir des hommes que son invention ou son perfectionnement ont rendus à jamais illustres. Et en y réfléchissant davantage, je me suis convaincu que l'ordre historique nous présenterait pour la description elle-

Digitized by Google

même de précieux avantages. Il sépare nettement l'une de l'autre les découvertes successives; il nous les fait passer en revue dans l'ordre où elles se sont naturellement présentées aux inventeurs. Il me permettra enfin de rendre, dans la faible mesure de mes forces, un éclatant hommage à un nom français dépossédé de sa gloire pendant un siècle et demi au profit de rivaux anglais, et dont la réhabilitation récente rencontre encore aujourd'hui de l'autre côté du détroit des résistances qui n'ont pas désarmé. Ce nom que vous avez tous sur les lèvres est celui de Denis Papin.

Pour juger sainement les tâtonnements et les erreurs d'une autre époque, il ne nous sera pas inutile de prendre tout d'abord un aperçu rapide des notions plus parfaites que l'on possède aujourd'hui sur le même sujet.

Deux circonstances essentielles influencent la production de la vapeur : la température et la pression. Une élévation de température est toujours accompagnée d'une formation de vapeur, et une formation de vapeur exerce sur les parois qui l'environnent une pression. On arrive ainsi, rien qu'en brûlant du combustible à créer une force capable de faire marcher des machines. Nous avons préparé deux expériences pour mettre en relief cette double influence.

La première, celle de la température, est bien connue. Chacun sait que si l'on échauffe de l'eau elle abandonne peu à peu l'état liquide pour se convertir en vapeur. L'appareil, dont nous nous servons ici pour cela, est connu sous le nom de *marmite de Papin*. C'est un cylindre métallique fermé par un bouchon à vis. Celui-ci est traversé par un mince orifice que nous recouvrons à son tour d'un levier à l'extrémité duquel est suspendu un

FIG. 27. — Marmite de Papin (d'après la *Physique* de M. Ganot).

poids. Nous avons fait chauffer de l'eau dans cette marmite, et nous allons l'ouvrir en retirant le levier. L'expérience est donc on ne peut plus simple. Elle est en même temps extrêmement bruyante, et la manière tumultueuse dont la vapeur effectue sa sortie est bien propre à vous donner une idée de la température et de la pression qui se trouvaient développées à l'intérieur. Mais vous pouvez remarquer que l'une et l'autre s'abaissent rapidement, car rien n'est plus aisé que de maintenir la main à l'intérieur du jet gazeux.

Cette expérience était destinée à mettre en évidence la production de vapeur que provoque une élévation de température. En voici une seconde pour vous montrer celle qui accompagne toujours une diminution de pression.

Si l'on caractérise la formation de la vapeur par sa manifestation la plus nette, l'ébullition, on remarque que la température à laquelle celle-ci se produit, et qui dans les circonstances ordinaires forme le point de 100 degrés, s'abaisse notablement sur le sommet d'une haute montagne. Sur le mont Blanc, par exemple, un thermomètre plongé dans l'eau bouillante n'accuse que 84 degrés. Et la raison en est facile à comprendre. Qu'est-ce, en effet, que l'ébullition? C'est la lutte de la vapeur qui tend à se former dans toute la masse de l'eau avec l'énorme fardeau de l'atmosphère terrestre qui pèse sur sa surface libre. Sur le mont Blanc, ce poids se réduit à celui de l'air qui surmonte le sommet de la montagne. Dans la plaine, au contraire, vous auriez, outre cette couche d'air, toute celle qui est comprise entre le sommet et le fond de la vallée. La vapeur éprouvera donc à cette hauteur moins de difficulté à soulever le fardeau qui

FIG. 28. — Machine pneumatique (d'après la *Physique* de M. Boutet de Monvel).

la comprime en faisant bouillonner la masse liquide. Il lui suffira par suite d'un ressort moindre, ou d'une température moins élevée.

Pour mettre ce phénomène sous vos yeux je n'ai pas

Digitized by Google

à ma disposition le coup de baguette qui nous transporterait tous sur le sommet des plus hautes montagnes. Mais je puis, sans modifier la pression de l'atmosphère dans laquelle nous sommes ici plongés, diminuer celle qui s'exerce sur la surface de cette eau. Il me suffit pour cela de placer le vase qui la contient sous la cloche de cette machine pneumatique, à l'aide de laquelle nous allons retirer l'air du récipient. Vous verrez alors cette eau, actuellement tranquille, et qui est à peu près à la température de la salle, entrer dans une violente ébullition, comme si nous avions placé au-dessous d'elle un foyer ardent.

Je me borne à ces préliminaires, messieurs, car je n'ai pas entrepris de vous présenter une conférence sur les propriétés de la vapeur, mais bien sur les machines à vapeur. Et même, j'ai eu soin de vous prévenir que je ne prendrais pas précisément pour texte la théorie de ces machines, mais plutôt l'histoire de leur origine et de leur développement.

Les anciens paraissent n'avoir pas ignoré la propriété essentielle de la vapeur, sur laquelle je viens d'appeler votre attention, à savoir la pression qu'elle exerce sur son enveloppe. Aristote et Sénèque, en effet, attribuent les tremblements de terre à la formation soudaine d'énormes quantités de vapeur qui viendraient remplir subitement de vastes cavités souterraines. Ils s'en sont d'ailleurs tenus sur ce point à des vues exclusivement théoriques, sans chercher à asservir à l'humanité une force aussi redoutable.

Le seul essai de machine à vapeur que nous présente l'antiquité est, en effet, basé sur un principe tout autre que celui de la pression. C'est en Égypte, sous les Ptolémée, en l'année 120 avant notre ère, que nous apparaît cette tentative. Elle appartient à un philosophe grec, nommé Héron d'Alexandrie. Son appareil qu'on appelle *éolipyle*, est fondé sur le principe de la réaction, autrement dit, du recul.

Vous savez tous qu'une pièce de canon recule au moment de l'explosion. Il se produit là un effet dont il est facile de se rendre compte. Le gaz qui prend subitement naissance par la déflagration de la poudre a tendance à occuper le plus de place possible, et pour cela à chasser le projectile qui lui ferme la porte de sortie. Il s'y prend à cet effet comme nous le ferions nous-mêmes, si nous avions à pousser en avant un objet pesant. Nous chercherions en arrière quelque point d'appui, afin de nous en servir pour exercer notre action. Le gaz ne fait pas autre chose. Il prend un point d'appui sur le fond de la pièce, et celui-ci n'étant pas fixé d'une manière immuable cède et recule sous cet effort. Ainsi donc le canon et son affût vont se porter en arrière, mais ce mouvement sera d'ailleurs bientôt arrêté par les résistances. Or, imaginez qu'au moment où sa vitesse va s'éteindre, une nouvelle explosion ait lieu; elle déterminera un nouveau recul. Et si une troisième explosion se produit quand celui-ci va encore cesser de lui-même et ainsi de suite indéfiniment, il arrivera que l'affût cheminera sur ses roues d'une manière continue. Supposez maintenant que les intervalles de ces détonations successives se rapprochent de plus en plus, et pour ainsi dire sans limite. Vous obtiendrez alors une sorte de décharge non interrompue, un véritable écoulement continu des matières lancées au dehors, quelque chose d'absolument semblable, sauf la vitesse, à ce qui se passe quand l'eau sort par un robinet du vase qui la contient. Est-ce donc à dire qu'un vase d'où l'on fait couler de l'eau doive toujours se mettre à reculer? Quelque paradoxale que puisse vous paraître ma réponse au premier abord, je dois cependant la faire affirmative. Oui, un vase d'où l'on fait couler horizontalement de l'eau se mettra toujours à reculer, pourvu, bien entendu, qu'on lui donne pour cela toute facilité. Et si l'expérience de tous les jours nous montre invariablement le contraire, cela tient à ce que l'on ne manque jamais d'entraver par le frottement cet effet qui serait fort curieux, mais encore plus gênant.

Ici au contraire, nous avons pris soin d'installer un vase dans des conditions favorables au recul. C'est celui que vous voyez ici, muni de ces deux pointes métalli-

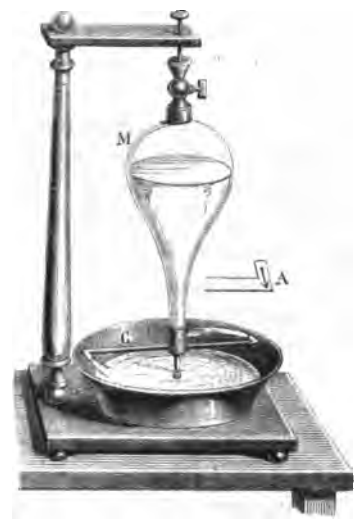


Fig. 29. — Tourniquet hydraulique (d'après la *Physique* de M. Ganot). — M. Vase tournant. — C. Tube d'écoulement. — A. Détail de l'extrémité du tube.

ques qui lui permettent de tourner sur son axe vertical. Ce vase est muni à sa partie inférieure d'un tube horizontal, recourbé horizontalement à ses deux extrémités. Qu'arrivera-t-il si ma théorie est exacte? Cette branche du tube devra, au moment de l'écoulement, se mettre à reculer, ce qui ne veut pas dire pour cela qu'elle se portera indéfiniment de ce côté, car elle est attachée en ce point de l'axe qu'elle ne peut quitter. Le seul moyen qu'elle ait d'obéir à sa tendance au recul consiste à tourner autour de cet axe, et vous voyez en effet, au moment où l'eau commence à couler, le vase prendre un mouvement de rotation.

Le principe de la réaction étant bien compris, je re-

Digitized by Google

viens à l'éolipyle de Héron d'Alexandrie. Il consiste en une sphère creuse remplie d'eau, munie de deux tubes recourbés, et susceptible de tourner sur un axe horizontal. Nous l'échauffons à l'aide de cette lampe à alcool. La

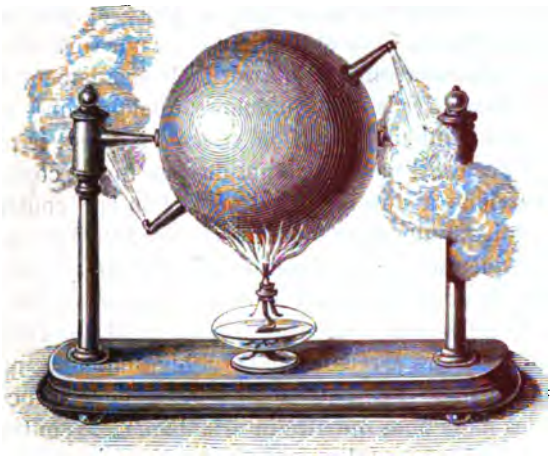


FIG. 30. — Éolipyle à réaction de Héron d'Alexandrie (d'après la *Physique* de M. Ganot).

vapeur commence déjà à sortir, la voici dans toute sa force, et la boule prend comme vous le voyez, une rotation plus rapide encore que dans le cas précédent.

Cette invention n'a du reste pas fait son chemin, et je rougis pour elle d'être obligé de dire que les efforts persévérants de tout le moyen âge n'ont pas réussi à l'élever au-dessus du rôle modeste de tourne-broche. Je craindrais donc d'y trop insister, et surtout de voir dans les éolipyles, suivant une opinion accréditée, les précurseurs et comme les ancêtres de nos machines à vapeur. Ce serait en vérité revendiquer pour ces dernières de pauvres quartiers de noblesse.

Nous franchissons maintenant, messieurs, l'espace de dix-sept siècles sans rencontrer aucune tentative qui mérite de vous être rapportée. A cette époque même, on ne trouve encore que quelques indices informes. C'est d'abord un manuscrit espagnol, exhumé par M. de Navarrete des archives royales de Simancas. Ce document relate des expériences qui auraient été faites dans le port de Barcelone et devant Charles-Quint, en l'année 1543, par Blasco de Garay, capitaine de mer. Ce dernier avait entrepris de faire marcher un navire à l'aide de deux grandes roues et *d'une machine où il y avait du feu*. Là s'arrête toute la description, et elle est véritablement par trop succincte pour constituer un titre bien sérieux. Rien ne prouve même que le feu jouât là un rôle essentiel plutôt qu'accessoire. Blasco de Garay ne laissa voir sa machine à personne, et sa tentative tomba en oubli.

En 1629 paraît également, à Rome, une sorte de compilation du signor Branca. On y trouve la description d'un appareil composé d'une roue que l'on met en mouvement, en projetant contre ses aubes un jet de vapeur. Or c'est là un moyen complétement illusoire, et que la moindre réflexion suffit à faire regarder comme impraticable; car pour ébranler un corps aussi lourd qu'une roue, il faut un autre corps possédant non-seulement une grande vitesse, mais encore une certaine masse, et la vapeur est beaucoup trop raréfiée pour cela. A la vérité nous voyons tous les jours les moulins à vent marcher par une influence analogue. Mais le succès tient alors à ce qu'au lieu d'un mince jet fluide on fait intervenir l'énorme masse d'air qui vient frapper toute la surface des ailes de la roue.

Une expérience plus importante se produisait en France à la même époque, et même quatorze ans auparavant. Elle appartient à Salomon de Caus, ingénieur normand, qui l'a consignée dans son traité *Des forces mouvantes*, à la date de 1615. Cet ouvrage est un recueil d'inventions de tous genres. Celle qui doit fixer ici notre attention est accompagnée d'un dessin. Or, rien n'est plus décisif qu'un dessin quand il s'agit de formuler une invention et la faire sortir des aperçus vagues et nuageux, pour la transporter définitivement dans le domaine de la réalité. Ce croquis représente un

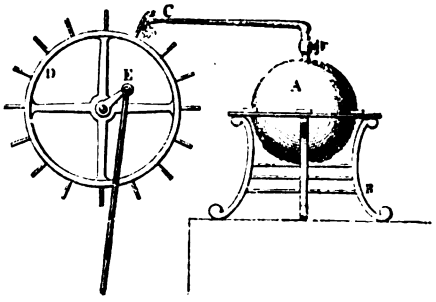


FIG. 31. — Appareil de Branca (d'après la *Mécanique* de M. Delaunay). — A. Chaudière. — C. Tube dirigeant la vapeur contre les aubes de la roue D. — E. Manivelle transmettant le mouvement de la roue.

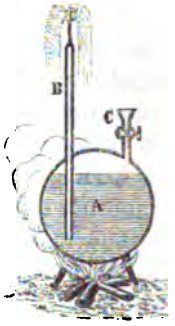


FIG. 32. — Appareil de Salomon de Caus (d'après le *Dictionnaire* de M. B. Dupiney de Vorepierre). — A. Ballon. — B. Tube d'ascension. — C. Tube d'alimentation.

appareil qui ne diffère pas de celui que nous avons préparé pour le faire fonctionner dans cette séance. Il consiste en un ballon de verre dont le bouchon est traversé par ce tube, qui plonge par le bas dans l'eau renfermée à l'intérieur. Le tout est placé sur un foyer ardent et fonctionne alors de la manière suivante. L'eau en s'échauffant se convertit graduellement en vapeur. Celle-ci, renfermée dans un espace limité, acquiert peu à peu une tension, un ressort qui irait jusqu'à la rupture et à l'explosion des parois, si elles étaient entièrement solides. Mais une partie de la surface qui limite l'espace intérieur est formée par l'eau elle-même, susceptible de céder sous cette pression, et de refluer devant elle en reculant par le chemin qui lui est ouvert, c'est-à-dire par le tube qui s'y trouve plongé. Le liquide s'élèvera donc progressivement, et finira, si on laisse la force s'accumuler pendant quelque temps, par jaillir au dehors.

Cinquante ans plus tard, nous apparaît le nom du marquis de Worcester. Et ici, messieurs, nous entrons dans le vif du débat historique qui nous sépare de nos voisins d'Outre-Manche. Tous les auteurs anglais ont en effet, l'un après l'autre, et avec une remarquable insis-

Digitized by Google

tance, glorifié dans le marquis de Worcester, le premier, le seul inventeur de la machine à vapeur. Nicholson, Robinson, Tredgold, ne jugent même pas à propos de mentionner au moins les noms des inventeurs français, et cette obstination n'est pas ébranlée par les preuves accumulées par Arago en faveur de Salomon de Caus, et comme nous le verrons tout à l'heure en faveur de Papin. Quels peuvent donc être les témoignages sur lesquels repose une opinion tellement enracinée. Tout se réduit à cet égard à un passage de l'ouvrage du marquis de Worcester, qui a pour titre : « Catalogue descriptif des » noms de toutes les inventions que je puis me rappeler » avoir faites ou perfectionnées, ayant perdu mes pre- » mières notes. » Autant le titre est long, autant le passage est court, et je veux vous faire juges vous-mêmes de son importance.

Le marquis commence par raconter l'explosion d'une pièce de canon qu'il avait remplie d'eau aux trois quarts, fermée à vis et placée dans un foyer ardent ; puis il ajoute : « De sorte qu'ayant trouvé une manière de con- » struire mes vases, au moyen de laquelle ils se fortifient » les uns les autres, et de les remplir l'un après l'autre, » j'ai vu l'eau jaillir comme un jet continuel à quarante » pieds. L'homme qui surveille la machine n'a qu'à tour- » ner deux robinets, afin qu'un vase d'eau étant épuisé, » l'autre commence à forcer et à se remplir d'eau froide, » et ainsi de suite, le feu étant alimenté constamment. »

En vérité, messieurs, devons-nous, à la lecture de ce passage, reconnaître chez son auteur la possession d'un appareil sérieux et efficace, ou simplement l'intuition vague d'une nouvelle source de force, que bien d'autres avaient entrevue avant lui. Pour le savoir, il faut que chacun de vous se demande s'il lui paraît possible, d'après cette description, et en faisant même abstraction des détails, de construire effectivement une machine élévatoire. Mais lors même qu'un lecteur indulgent, aidant de sa propre intelligence les obscurités du texte, trouverait dans ces expressions vagues une prise de possession de l'idée mère des nouvelles machines, la cause du marquis de Worcester ne serait pas encore gagnée ; car il serait alors impossible, en serrant le texte d'aussi près que possible, d'en extraire autre chose que l'appareil si simple décrit et dessiné par Salomon de Caus quarante-huit ans auparavant.

La légende s'est emparée depuis de ce qui concerne ces deux inventeurs, et sur ce terrain la peinture n'a pas tardé à venir en aide à la littérature. Quelques-uns d'entre vous se rappelleront peut-être avoir vu, à un Salon d'une date déjà un peu ancienne, une toile d'un de nos peintres d'histoire, M. Lecurieux. Ce tableau représente une prétendue rencontre du marquis de Worcester, voyageant en France, en 1641, avec Salomon de Caus, enfermé comme fou à l'hôpital de Bicêtre par des contemporains incapables de le comprendre, et devenu réellement furieux à la suite de sa reclusion. Ce serait uniquement des lueurs recueillies dans l'entretien du malheureux insensé que le marquis aurait plus tard composé sa description. Mais une simple remarque suffit à faire crouler tout le roman par la base. En 1641, Bicêtre, loin de servir de maison de fous, n'était encore qu'une commanderie de Saint-Louis, et Salomon de Caus était mort depuis onze ans.

Le 22 août 1647, naquit, à Blois, Denis Papin. On ne sait presque rien de son enfance, si ce n'est que, bien qu'appartenant à une famille protestante, il fut élevé au collége des Jésuites et destiné à la profession médicale. Mais son penchant naturel pour la physique ne devait pas tarder à le jeter dans la carrière aventureuse des inventions. La plus remarquable de toutes est bien certainement celle de sa *machine atmosphérique*, véritable début des machines à vapeur, et que je vais m'efforcer de vous faire comprendre.

L'idée de génie de Papin est double : la première consiste à faire marcher une machine par le vide, la seconde à produire ce vide à l'aide de la vapeur. Expliquons successivement ces deux points.

Considérez une capacité cylindrique fermée par le bas,

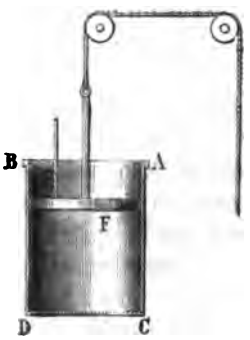


Fig. 33. — Machine atmosphérique de Papin (d'après la *Mécanique* de M. Privat-Deschanel).

ouverte par le haut, mais obturée par un piston capable de monter et de descendre. Dans les conditions naturelles, celui-ci sera maintenu à la partie supérieure par l'action de cette corde qui passe sur deux poulies et supporte un contre-poids plus lourd que le piston. Mais si vous supposez que, par un moyen quelconque, l'air qui remplit le cylindre vienne à être supprimé, le piston supportera comme auparavant sur sa face supérieure, l'énorme poids de l'atmosphère terrestre, qui est celui d'une colonne d'eau de 10 mètres de hauteur, et cet effort n'étant plus équilibré par la force élastique égale de l'air intérieur, le piston descendra avec rapidité. Supposez maintenant que l'atmosphère se reforme tout à coup : les deux faces se retrouvent également pressées par l'air, et le contre-poids reprend son action pour remonter le piston. Une nouvelle suppression de la pression intérieure le précipite de nouveau vers le bas, et ainsi de suite indéfiniment.

Digitized by Google

Cette première idée nous fournit donc, dans un appareil très-simple, un moteur universel, capable, par des transmissions appropriées, de produire tous les mouvements que l'on pourra désirer. Mais elle restera complétement stérile, si nous ne trouvons pas un moyen de réaliser le vide sur lequel est basée toute l'action. C'est la seconde découverte de Papin.

Il n'est pas arrivé du premier coup à l'idée de faire le vide par la vapeur. Sa première pensée, qui était, en effet, la plus naturelle, consistait à extraire l'air du cylindre à l'aide d'une pompe, véritable machine pneumatique, manœuvrée par un moteur auxiliaire. Il se proposait d'utiliser pour cela la force des chutes d'eau et d'exercer leur puissance à distance, à l'aide de longs tuyaux dans lesquels ce vide se transmettrait. Il intitulait ce procédé *moyen de transporter au loin la force des rivières*. Il est intéressant de voir Papin, en 1687, donner ainsi la première idée du chemin de fer atmosphérique, que nous avons tous vu fonctionner à la côte de Saint-Germain.

Un second moyen, qu'il imagina plus tard, consistait à chasser l'air du cylindre par l'explosion de la poudre. Mais j'y insiste d'autant moins, que ce principe, détestable d'ailleurs, ne lui appartenait pas en propre, et avait été employé avant lui par l'abbé de Hautefeuille, esprit inventif mais un peu superficiel de la même époque.

Enfin, en 1690, Denis Papin compléta la découverte qui doit lui assurer à jamais l'admiration et la reconnaissance de la postérité. Supposez que par un orifice pratiqué dans le piston on ait introduit dans le cylindre une petite quantité d'eau et qu'on la porte à l'ébullition. Le torrent de vapeurs qui se dégage en chassera peu à peu l'air pour en prendre la place. Si à ce moment nous fermons le conduit pratiqué dans le piston, la vapeur va dans les premiers instants soutenir ce dernier comme le faisait l'air avant elle, en opposant à la pression atmosphérique supérieure un effort égal. Mais il y aura cette différence, qu'il suffit maintenant de laisser refroidir cette vapeur pour qu'elle reprenne la forme liquide, en laissant tout l'espace vide ou peu s'en faut. En la réchauffant de nouveau on la réduira encore une fois en vapeur pour remonter le piston; puis, en retirant le feu, on obtiendra un nouveau vide, et ainsi de suite indéfiniment.

C'est là précisément ce qui détache nettement les titres de Papin du nuage où se confondent plus ou moins ceux qui le précèdent; car rien jusqu'à lui ne ressemble, de près ni de loin, à la condensation qui supprime la force après qu'on l'a créée à l'aide de la chaleur. D'autres avaient entrevu avant lui la production de cette force; aucun n'avait eu l'idée de cette alternative de développement et d'anéantissement de l'action, qui est le principe fondamental de toutes les machines actuelles.

Ne quittons pas cependant Papin sans dire un mot de celles au moins de ses autres inventions qui se rapportent à la vapeur; et, d'abord, de la *soupape de sûreté*. Papin venait de doter l'industrie d'un nouveau moteur destiné à en changer la face. Mais il y introduisait en même temps un danger effroyable, celui de l'explosion des chaudières. Pour que rien ne vînt diminuer l'étendue du bienfait, il réussit à prévenir ce péril au moyen de l'appareil que je mets sous vos yeux. Que faut-il pour

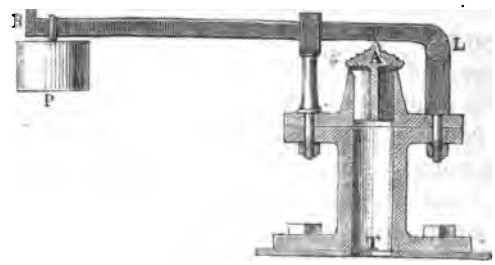


Fig. 34. — Soupape de sûreté de Papin (d'après le *Dictionnaire* de M. B. Dupiney de Vorepierre). — B. Levier tournant sur l'axe L. — P. Poids mobile. — T. Arrivée de vapeur.

empêcher que la vapeur n'élève sa tension à un degré fatal pour les parois qui la renferment? Uniquement lui offrir à temps une porte de sortie. Mais qui veillera à cette porte pour ne l'ouvrir qu'au moment utile? C'est un simple poids dont on recouvre la soupape, trop lourd pour que la vapeur le chasse dans les limites où l'on tient à la maintenir, assez faible pour lui céder quand sa force deviendra dangereuse. On arrive, d'ailleurs, à graduer avec précision l'action que ce poids, toujours le même, devra exercer sur la soupape en le faisant courir le long de ce levier. Il n'est personne, en effet, qui n'ait parfois manœuvré un levier, et ressenti la différence qu'on a à le prendre en tel ou tel point pour soulever un fardeau par son extrémité.

Disons, enfin, que si la première idée du chemin de fer atmosphérique appartient à Papin, on doit lui reporter aussi les premières tentatives de navigation à vapeur, en réservant toutefois, pour être équitable, les titres un peu problématiques de Blasco de Garay. Les essais de Papin furent faits sur une rivière d'Allemagne, sur la Fulda, et avec succès, car il parvint assez facilement à en remonter le courant. Mais bientôt un acte de vandalisme brutal vint tout arrêter. Le bateau de Papin fut mis en pièces par les bateliers du Weser, et sa tentative retomba dans l'oubli.

A tant de titres de gloire se joint chez Papin le cachet du malheur. Ce dernier échec acheva de briser toutes ses espérances. Il retourna en Angleterre, où la Société royale, dont il était membre, lui faisait une pension de 62 francs par mois. C'étaient ses seules ressources. Il dut dès lors renoncer à ses essais et écrivait à ses amis de France : « Je suis maintenant obligé de mettre » mes machines dans le coin de ma pauvre cheminée. » Il végéta ainsi quelques années encore et s'éteignit dans la misère. On ne sait même plus aujourd'hui en quel lieu reposent les restes de celui qui fut un homme de

Digitized by Google

bien, en même temps que l'une des gloires les plus pures de notre patrie.

Parmi les inventeurs qui succèdent à Papin, je dois citer d'abord le capitaine Savery. Je me bornerai d'ailleurs à cette simple mention, car sa machine, propre uniquement à l'élévation des eaux, n'était guères qu'une combinaison des appareils de Salomon de Caus et de Papin. Il serait cependant injuste de lui refuser l'honneur d'avoir effectivement construit, en 1698, la première grande machine qui ait fonctionné avec succès par l'action de la vapeur.

J'insisterai davantage sur la machine de Cawley et de Newcomen. Newcomen était un serrurier, Cawley était un vitrier. Une machine de Savery se trouva installée dans leur voisinage. Elle attira l'attention de Newcomen, qui se mit à réfléchir à la manière d'obvier à ses nombreux défauts. Robert Boyle, avec lequel il était en correspondance et qui avait eu lui-même des relations suivies avec Papin, lui fit connaître la machine de ce dernier. New-

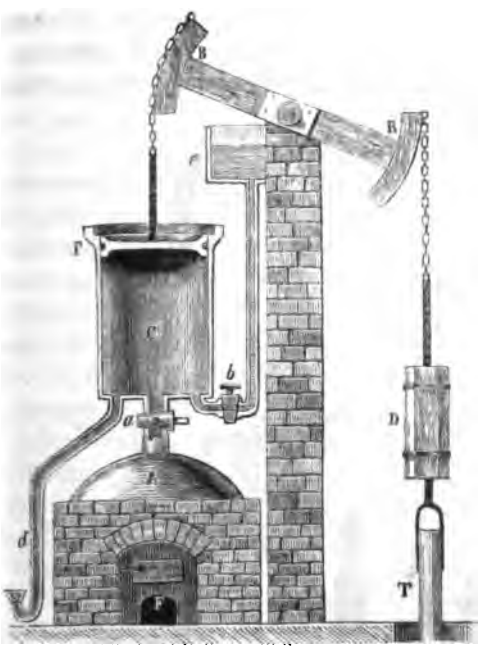


Fig. 35. — Machine de Newcomen.

A. Chaudière avec l'entrée de l'air par le foyer en F. — C. Cylindre à vapeur. — P. Piston moteur. — B, B. Balancier oscillant autour d'un axe et supportant, par l'intermédiaire de deux chaînes, la tige du piston P et les maîtresses tiges des pompes à épuisement T. — T. Maîtresses tiges des pompes de mines mues par la machine. — D. Contre-poids supplémentaire. — *e*. Bâche contenant l'eau froide destinée à produire la condensation de la vapeur. — *b*. Robinet laissant entrer cette eau dans le cylindre à vapeur. — *a*. Robinet laissant entrer la vapeur dans ce même cylindre. — *d*. Tuyau par lequel l'eau s'échappe du cylindre *c*.

comen la construisit aussitôt. Il y apporta même de son propre fonds un perfectionnement essentiel, en introduisant une chaudière séparée. Dans l'appareil de Papin, le cylindre sert à la fois à la production et au jeu de la vapeur. Désormais la vaporisation s'effectuera dans une enceinte spéciale qui restera toujours chaude et préservée des alternatives d'échauffement et de refroidissement du cylindre.

En même temps les nouveaux constructeurs — ou plutôt Savery leur associé — eurent l'idée importante, quoique bien simple, d'accélérer le refroidissement par des aspersions d'eau froide. Mais bientôt le hasard les servit d'une manière heureuse et compléta leur découverte. On vit un jour la machine prendre tout à coup une allure plus rapide et les coups de piston se succéder avec une vitesse inaccoutumée. Et en en recherchant la cause, on la trouva dans une fissure qui s'était déclarée à travers le piston et qui permettait à l'eau de pénétrer à l'intérieur. Ce fut un trait de lumière, et à partir de cette époque, on ne manqua plus d'opérer la condensation de la vapeur à l'aide d'une pluie d'eau froide introduite à l'aide d'un robinet et d'un tube terminé par une pomme d'arrosoir.

La machine à vapeur n'exigeait plus d'après cela, pour son fonctionnement, que l'ouverture et la fermeture, à des intervalles réguliers, de deux robinets pour l'arrivée et le départ de la vapeur et de l'eau froide. Cette mission peu fatigante avait été confiée à un jeune apprenti nommé Humphry Potter. Elle lui laissa le loisir d'observer que ces manœuvres se reproduisaient, comme il était d'ailleurs tout naturel, pour des positions toujours les mêmes du balancier. Il conçut d'après cela l'idée de substituer à son intervention personnelle celle d'un système de ficelles convenablement adaptées aux pièces mobiles, et qui devaient dorénavant, en son lieu et place, ouvrir et fermer les robinets en question. De cette manière Humphry put abandonner sa machine à elle-même et rejoindre furtivement ses compagnons de jeu. Jamais paresseux ne fut mieux inspiré. L'importance de l'innovation ne pouvait manquer de frapper les constructeurs sérieux, et sur-le-champ le mécanicien Reighton substitua aux ficelles de Potter des tringles de fer, comme on en voit encore aujourd'hui dans les machines de la pompe à feu de Chaillot.

Enfin, nous arrivons à Watt. La justice nous oblige à reconnaître, messieurs, que si Papin doit être maintenu rigoureusement en possession de la découverte véritable des machines à vapeur, Watt, par une suite non interrompue d'inventions de génie, s'est approprié le sujet de la manière la plus brillante. La voie était tracée, il s'en empara et la parcourut en maître. Watt, l'un des plus grands hommes de l'Angleterre, naquit à Greenock, en 1736. Plus heureux que Papin, il est mort comblé d'honneurs et membre associé de l'Institut de France en 1819.

La première et, sans contredit, la plus importante de ses innovations est celle du *condenseur*. Nous venons de dire que, dans la machine de Papin, les trois fonctions essentielles de la vapeur étaient confondues dans le cylindre : la production de la vapeur, son expansion et sa condensation. Le premier de ces phénomènes venait d'en être écarté par Newcomen par

Digitized by Google

l'introduction d'une chaudière spéciale; Watt eut l'idée de reléguer également le dernier, la condensation, dans un espace distinct aussi, appelé le condenseur. De cette manière, le cylindre se trouve réservé dorénavant au seul jeu de la vapeur qui prend naissance et disparaît dans des enceintes séparées. Le grand avantage de cette combinaison consiste en ce que chaque pièce conserve dorénavant sa température, et tandis qu'au début le cylindre devait alternativement s'échauffer et se refroidir, maintenant la chaudière et le cylindre resteront toujours chauds, le condenseur toujours froid. Par là on réalise à la fois de meilleures conditions de conservation pour l'appareil, un grand accroissement de vitesse pour la marche et une notable économie de combustible, puisqu'on n'est plus obligé de produire incessamment dans les parois du cylindre une quantité de chaleur incessamment détruite par le refroidissement.

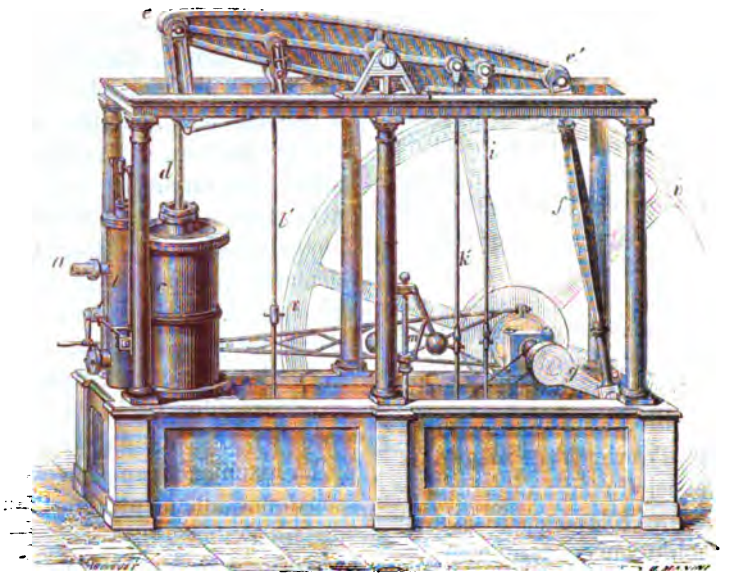


FIG. 36. — Vue d'ensemble de la machine de Watt (d'après la *Physique* de M. Pouillet).

Watt a également attaché son nom à une seconde découverte dont l'importance égale celle du condenseur, je veux parler de la *détente*. Avant lui, on n'employait la vapeur qu'à la tension de la chaudière, et, à l'instant où s'opérait la liquéfaction, la chute de pression s'effectuait depuis ce degré jusqu'au vide, ou peu s'en faut. Watt reconnut qu'on détruisait par là en pure perte une source de force considérable, car cette tension de la vapeur en fait un véritable ressort fortement bandé qu'il suffit de laisser se détendre (d'où le mot *détente*) pour en retirer encore un certain effet mécanique. Au lieu donc de refroidir la vapeur immédiatement après avoir fermé le robinet ou la soupape qui l'amène de la chaudière,

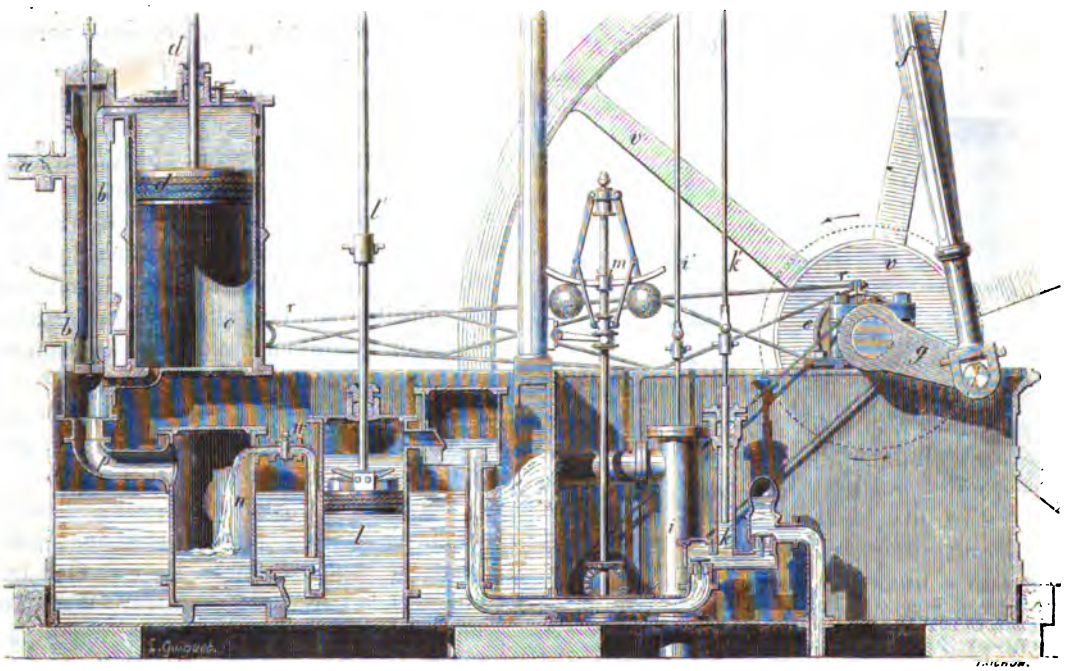


FIG. 37. — Coupe verticale de la machine de Watt. — *a*. Tuyau d'arrivée de vapeur. — *p*. Tuyau de départ de la vapeur. — *b*. Tiroir de Watt, dit tiroir en D, réglant l'arrivée et le départ. — *c*. Cylindre. — *d*. Piston commandant, par l'intermédiaire du balancier, la bielle *f*. — *f*. Bielle menant la manivelle *g*. — *g*. Manivelle montée sur l'arbre tournant. — *v*. Volant monté sur l'arbre et régularisant le mouvement par sa masse. — *e*. Excentrique monté sur l'arbre tournant et manœuvrant la bielle *r*. — *r*. Bielle d'excentrique commandant le tiroir *b*. — *m*. Régulateur à force centrifuge. — *i*. Pompe à eau froide extrayant l'eau d'un puits et la versant dans la bâche à eau froide, d'où elle entre par aspiration dans le condenseur *n*. — *n*. Condenseur recevant la vapeur par le tuyau *p*. — *l*. Pompe à air extrayant du condenseur l'eau de condensation et l'air qui s'en dégage, et versant cette eau tiède dans la bâche à eau chaude, où elle est puisée par la pompe alimentaire *k*. — *k*. Pompe alimentaire injectant l'eau tiède dans la chaudière (d'après la *Physique* de M. Pouillet).

Digitized by Google

Watt lui ménageait encore une prolongation du cylindre dans laquelle elle continuait de pousser le piston en se détendant ou se débandant. L'effet utile ainsi développé était évidemment pour lui tout bénéfice.

Il est clair, d'après cela, qu'il résulte de cette innovation une grande économie de combustible, car puisqu'avec la même quantité de vapeur, c'est-à-dire de charbon brûlé pour la produire, nous obtenons plus de travail qu'auparavant, cela revient à dire qu'à égalité de travail effectué on dépensera moins de combustible. Or, nous ne devons pas oublier que si la science pure met sous ses pieds la question d'argent pour ne s'attacher qu'à la recherche de la vérité, la science appliquée à l'industrie doit accepter toutes les conditions d'existence de cette dernière, c'est-à-dire ne se préoccuper que d'une seule chose : produire à un prix rémunérateur et au meilleur marché possible.

Et voulez-vous, messieurs, vous rendre compte par vous-même de l'importance de l'économie ainsi réalisée par Watt? Il me suffira pour cela de vous citer le détail suivant. Lorsque Watt et son associé Boulton voulurent faire pénétrer dans les habitudes de l'industrie anglaise les produits de leur atelier de construction de Soho, près Birmingham, ils offrirent, non pas de vendre leurs machines, mais de les donner. Et non-seulement ils les donnaient, mais ils reprenaient à un prix bien supérieur à leur valeur les vieilles machines de Newcomen, qu'ils avaient la prétention de remplacer. Boulton avança ainsi avant d'opérer une seule rentrée plus d'un million de notre monnaie. Une seule clause, modeste en apparence, devait en définitive permettre aux inventeurs de retirer un bénéfice légitime; c'était une redevance d'un tiers seulement de l'économie réalisée par eux sur le combustible. Or, dans une seule mine, celle de Chacewater, cette redevance s'éleva pour une seule année à 60 000 francs, indiquant 180 000 francs comme le chiffre total de la différence.

Les deux inventions du condenseur et de la détente sont loin d'être les seules que l'on doive au génie de Watt. Il me faudrait à cet égard vous citer le double effet, la double enveloppe de vapeur, le parallélogramme si admiré des géomètres, et tant d'autres. Mais parmi toutes ces richesses, je ne veux vous décrire encore qu'un seul mécanisme, en raison de son originalité.

Watt venait, par la série non interrompue de ses découvertes, de créer en quelque sorte de toutes pièces la machine à vapeur. Il voulut, si je puis m'exprimer ainsi, après avoir créé une machine, créer encore un mécanicien, je veux dire quelque chose qui fût capable de remplacer l'intervention intelligente d'un ouvrier toujours attentif. Vous vous rappelez que Humphry Potter avait déjà beaucoup fait dans cette voie. Mais ce n'était pourtant que la partie la plus aisée de la tâche. Il s'agissait pour lui d'obtenir la manœuvre régulière des organes; rien de plus simple au fond que de l'emprunter au jeu régulier de la machine. La prétention de Watt était plus élevée : il se proposait de remédier aux irrégularités imprévues et fortuites qui pourraient survenir dans ce jeu. Et ce fut précisément ces irrégularités elles-mêmes qu'il chargea de remédier aux causes de dérangement. Il lui suffit pour cela d'adapter à la machine à vapeur cet appareil qu'il appelait le *gouverneur*, et que nous nommons aujourd'hui *régulateur à force centrifuge*.

Tout le monde a entendu parler de la force centrifuge. On appelle ainsi une tendance qui se développe toujours quand on force un corps à tourner, et qui le sollicite à s'éloigner du centre. Les boules que vous voyez ici sont mises en communication avec le mouvement de la machine, et vont dès lors se trouver animées d'une rotation autour de cet axe vertical. Elles sont de

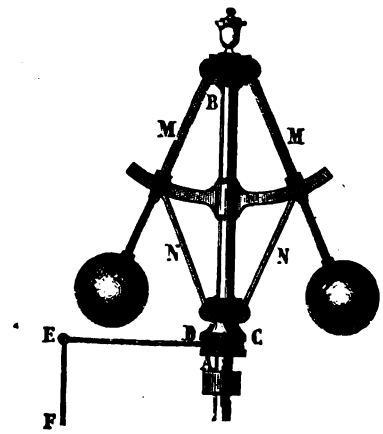


Fig. 38. — Régulateur de force centrifuge (d'après la *mécanique* de M. Privat-Deschanel).

plus susceptibles d'un autre mouvement qui leur permet de s'écarter de l'axe, ce qu'elles ne manqueront pas de faire lorsqu'elles se trouveront sollicitées par la force centrifuge. Cet écartement fait d'ailleurs, comme vous le voyez, basculer un levier qui n'est autre que le manche du robinet de vapeur. Voici, d'après cela, comment les choses vont se passer.

Supposez que pour un motif quelconque, la machine vienne tout à coup à marcher trop vite, la force centrifuge ainsi surexcitée écarte davantage les boules, soulève le levier, et ferme en partie le tuyau d'arrivée. Il y aura donc dorénavant moins de vapeur, moins de force motrice par conséquent, et la machine se ralentissant rentrera dans le régime normal. Si au contraire, pour une cause encore quelconque, l'appareil vient à fonctionner trop lentement, la force centrifuge diminue, les boules ne peuvent plus être maintenues par elle au même degré d'écartement, leur poids les fait retomber, le levier s'abaisse et rouvre le tuyau d'admission. Il arrive alors plus de vapeur pour remédier à cette défaillance momentanée, la force motrice reprend de l'énergie, et le mouvement de la machine s'accélérant, revient encore au degré normal.

Digitized by Google

Si rapide qu'ait été cette esquisse des travaux de Watt, elle vous suffit cependant pour apprécier son œuvre à sa véritable grandeur. Un seul chiffre vous permettra d'ailleurs de vous faire une idée de la révolution apportée dans l'industrie par la machine que l'on doit presque tout entière à son génie. Si nous en évaluons la puissance par le nombre des ouvriers qu'elle est en état de remplacer, la statistique nous apprend que les machines qui existent aujourd'hui, dans l'Angleterre seule, effectuent le travail de plus de 30 millions d'hommes, ce qui correspond à une population d'environ 120 millions d'âmes, cinq fois peut-être celle de tout le Royaume-Uni. De plus, le prix de la journée de chacun de ces ouvriers de fer et de feu se réduit à un peu moins d'un sou de notre monnaie.

L'histoire des machines à vapeur ne s'arrête pas à Watt, bien qu'il leur ait donné une impulsion décisive. Mais de tous les perfectionnements plus récents, je ne vous citerai que la distribution actuelle, le tiroir. La tentative est scabreuse peut-être, car le sujet est minutieux. Mais puisqu'une bienveillante curiosité vous a engagés à venir essayer de la mécanique, je ne dois pas craindre de vous en donner le baptême, et si je réussis à me faire comprendre, vous aurez la satisfaction d'avoir saisi ce qu'il y a de plus délicat dans la machine à vapeur.

Ces figures vous représentent, dans quatre circonstances différentes, ce qu'on appelle *une coupe* de la paroi qui sépare le cylindre de la *boîte à vapeur*, c'est-à-dire ce que nous obtiendrions si je donnais dans cette paroi un trait de scie pour enlever l'une des moitiés et vous laisser voir dans l'intérieur de l'autre. Le cylindre se trouve à droite de la paroi, la boîte à vapeur est à gauche. Cette boîte est comme l'antichambre du cylindre, la vapeur y arrive de la chaudière et pénètre de là dans le corps de pompe par les différents conduits qui sont pratiqués dans la paroi. Vous en apercevez trois. Les deux premiers B et C, qu'on appelle des *lumières*, aboutissent aux extrémités du cylindre; c'est par eux que le fluide se rendra en temps utile de la boîte à vapeur derrière le piston. Un troisième canal D, qu'il faut concevoir perpendiculaire au plan de la figure, mène au condenseur; c'est le couloir de sortie de la vapeur après qu'elle a rempli son rôle; imaginez, pour simplifier l'intelligence de ce qui va suivre, que ce soit le condenseur lui-même.

Ces trois canaux ne se trouvent pas, d'ailleurs, dans des conditions identiques, et ils sont influencés d'une manière très-différente par le *tiroir* mobile qui glisse le long de la paroi, comme vous le montrent ses quatre positions qui sont ici représentées. L'étendue de son excursion n'est jamais assez grande pour dépasser les bords du condenseur, qui se trouve par là constamment séparé de la boîte à vapeur. Et cela était bien nécessaire, car si la communication se trouvait établie entre eux pour un seul instant toute la provision de vapeur accumulée dans la chaudière irait se précipiter dans le condenseur et la machine serait immédiatement désarmée. Chacune

Fig. 39.

Fig. 40.

Fig. 41.

Fig. 42.

Positions successives des pièces du tiroir pour la distribution de la vapeur avec détente.

des deux lumières, au contraire, est susceptible de trois états différents: communication avec le condenseur ou avec la chaudière, ou fermeture complète.

Après cet aperçu des fonctions distinctes de chacun de ces organes, tâchons de bien comprendre la manière dont ils fonctionnent simultanément.

Dans la première position (fig. 39), vous devez supposer le piston en haut de sa course. La communication se trouve établie entre l'espace inférieur et le condenseur. Toute la vapeur précédemment employée va par suite disparaître, et laisser la place vide pour la descente du piston. Celui-ci y sera, d'ailleurs, sollicité par la pression de la vapeur, qui trouve le chemin ouvert entre la chaudière et la partie supérieure du cylindre. Au bout de quelque temps, les conditions changent et deviennent celles de la seconde figure (fig. 40). La communication continue à rester libre entre le dessous du piston et le condenseur, mais le passage précédemment suivi par la vapeur s'est fermé. Que se passera-t-il dès lors? C'est qu'il n'en arrivera plus, et que celle qui est déjà entrée agira dorénavant par sa détente pour pousser le piston jusqu'au bas de sa course.

Arrivé à ce point, on ne demande plus à un contrepoids, comme au temps de Papin, de relever le piston. On le remonte par un jeu absolument identique, et c'est

Digitized by Google

en cela que consiste *le double effet* que nous devons à Watt et que je n'ai fait tout à l'heure que vous citer en passant. Détaillons de même les circonstances de la course ascendante.

La troisième figure (fig. 41) montre en communication avec le condenseur la lumière supérieure, qui tout à l'heure s'est trouvée successivement ouverte dans la vapeur, puis fermée. La quantité de vapeur dont nous avons suivi l'action dans ses différentes phases disparaît par là subitement, et cesse de s'opposer au retour ascendant du piston. Au contraire, la lumière inférieure, que nous avons toujours vue jusqu'ici communiquer avec le condenseur, s'est ouverte dans la vapeur. Celle-ci profite de cette issue pour s'élancer sous le piston, qu'elle commence à remonter. Mais quelques instants après, lorsqu'une quantité suffisante de ce fluide a pénétré dans le corps de pompe, le tiroir exécute encore un mouvement (fig. 42) et ferme la lumière inférieure sans rien changer, d'ailleurs, à l'état de la seconde. La vapeur se trouve ainsi de nouveau confinée et agit à détente pour achever de remonter le piston jusqu'à la partie supérieure. Voici donc enfin ce dernier revenu à son point de départ après avoir traversé quatre phases différentes, qui vont ensuite se reproduire dans le même ordre et indéfiniment.

La distribution que je viens de vous décrire suffit parfaitement pour une machine dont les conditions de travail sont fixes. Mais souvent ces conditions sont variables. Ainsi par exemple, une locomotive a beaucoup plus d'effet utile à développer pour monter une rampe que pour s'avancer en plaine. Une machine d'atelier peut être destinée à faire marcher de nombreux métiers, indépendants les uns des autres, et dont les uns se trouveront pour un instant arrêtés, tandis que les autres continuent à fonctionner. Il s'agit, en un mot, de communiquer à la machine à vapeur une propriété nouvelle, qui consiste à proportionner sa puissance aux besoins du moment, de même que le bras de l'homme peut développer les efforts les plus variables, suivant la résistance qu'il éprouve. Le moyen employé pour cela est extrêmement ingénieux. Il consiste simplement à faire varier le degré de détente.

Nous avons vu que le jeu de la machine pendant un coup de piston comprend deux périodes distinctes : l'une de pleine pression, pendant laquelle la vapeur, communiquant librement avec la chaudière, agit avec toute son énergie; l'autre de détente, lorsque la vapeur est séparée de sa source, et pendant laquelle cette force va en diminuant peu à peu. Il est clair par suite, que si ces deux phases se partagent inégalement la durée du coup de piston, suivant que la période de vigueur et celle d'affaiblissement seront prépondérantes, l'effet total sera plus ou moins grand. Tout le secret consiste donc à fermer un peu plus tôt ou un peu plus tard l'admission de la vapeur, pour commencer à la faire agir avec détente.

On est arrivé ainsi à assouplir d'une manière merveilleuse l'action de ces puissants moteurs, et le plus énergique des auxiliaires de l'homme en est devenu en même temps l'esclave le plus docile. Dans nos grandes forges à vapeur, par exemple, on rencontre des marteaux-pilons qui atteignent le poids de 10 000 kilogrammes. Ils servent à forger le fer, et cela non-seulement par la chute de cet énorme poids, mais encore sous l'action de la vapeur que l'on fait passer au-dessus du marteau, et qui le lance à terre comme nous lancerions une balle élastique pour la faire rebondir, ou un objet fragile pour le briser en morceaux. Or, on voit les ouvriers, après avoir broyé sous ce choc formidable les loupes de fer incandescent, se faire un jeu de se servir de ce même marteau pour boucher une bouteille ou casser délicatement une noix.

Le temps dont je dispose est si court, que je ne saurais, en même temps que la machine à vapeur, étudier en détail ses différentes applications. Il en est une cependant tellement importante, qu'il m'est impossible de n'y pas fixer un instant votre attention. Je veux parler de la locomotive et de l'industrie des chemins de fer.

Qu'est-ce qu'une locomotive? Tout simplement une voiture sur laquelle est installée une machine à vapeur. Cette machine est employée à forcer les roues de la voiture à tourner sur leurs essieux. Dès lors il arrivera nécessairement de deux choses l'une : ou la locomotive restera en place, ou elle se portera en avant. Pour qu'elle entre en mouvement, il lui faut vaincre la résistance, la traction du train. Mais pour rester sur place, il ne faut pas croire qu'elle n'ait aucune force à développer. Nous venons de dire que les roues sont forcées de tourner. Si c'est sans avancer, elles devront, pour cela, frotter sur le rail, et tout le monde sait que, pour faire frotter un corps sur un autre, il faut exercer un effort. Ce sera même ici le plus considérable des deux, par la raison toute simple que, tandis que la traction a une certaine valeur donnée, le frottement sera aussi grand que vous le voudrez, il suffira pour cela de faire la locomotive assez lourde pour qu'elle presse davantage et frotte d'autant plus sur le rail. La locomotive ne peut donc, quoi qu'elle fasse, se dispenser d'exercer un effort, et elle choisira en quelque sorte le mode qui en exigera le moins de sa part, c'est-à-dire qu'elle se portera en avant. Idée bien simple et qu'on a eue de bonne heure.

Les premiers essais ont été faits en 1769 par Cugnot, ingénieur français. Sa voiture à vapeur s'avançait avec la vitesse d'une lieue à l'heure environ. Et même elle s'essoufflait rapidement et ne pouvait guère fonctionner plus d'un quart d'heure de suite. Il fallait alors s'arrêter, chauffer de nouveau, puis repartir pour fournir une nouvelle course d'un quart d'heure. Évidemment l'invention n'avait pas encore dit son dernier mot.

Est-ce à dire que la puissance manquât au nouveau moteur pour entraîner les lourdes masses que lui impose la locomotion devenue tous les jours plus exigeante?

Digitized by Google

Non, car la force des machines à vapeur est proverbiale, et aucun appareil ne se prête aussi bien qu'elle à l'accumulation d'une énorme puissance dans un seul appareil. Était-ce la précision du mouvement à imprimer à un moteur inerte, incapable de percevoir, comme le cheval, un ordre instantané et d'y obéir instantanément? Non encore, car depuis longtemps les chemins de fer étaient employés, au moins dans l'intérieur des mines, et il est facile, en réunissant les roues de rebords, de guider avec une grande sûreté la direction du mouvement. Là n'était pas la difficulté, elle était tout entière dans la production de la vitesse, et c'est encore à un ingénieur français,

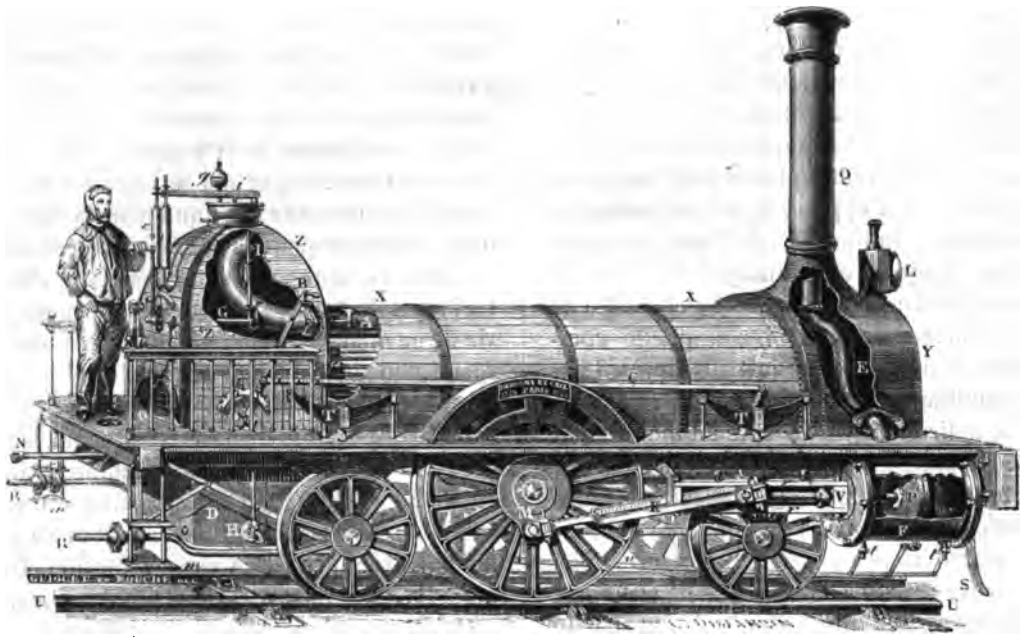


FIG. 43. — Locomotive.

Foyer. — O. Porte pour charger le coke dans le foyer. — D. Foyer. — Z. Boîte à feu où se rendent les gaz de la combustion. — *a.* Tubes dans lesquels ils traversent l'eau. — Y. Boîte à fumée où ils aboutissent. — Q. Cheminée.
Vapeur. — R. Tuyau amenant l'eau du tender dans la chaudière X. — X. Chaudière. — A. Prise de vapeur dans la chaudière. — I. Papillon qui ferme la prise de vapeur. — E. Echappement de la vapeur dans la cheminée pour la condensation à l'air libre.
Mécanismes. — F. Cylindre. — P. Piston. — V. Boîte à étoupes pour la sortie de la tige du piston. — *r.* Guides de la tige. — K. Bielle motrice commandée par la tige. — M. Manivelle menée par la bielle et manœuvrant les roues motrices.
Manœuvres. — G. Tringle pour manœuvrer le papillon I. — B. Poignée du levier de changement de marche. — *b.* Secteur-guide pour cette poignée. — C. Tringle de renvoi du changement de marche. — *t.* Robinet de purge du cylindre. — *v.* Tringle du robinet de purge.
Appareils accessoires. — *i.* Soupape de sûreté. — *n.* Tube de cristal indiquant le niveau de l'eau dans la chaudière. — *g.* Sifflet à vapeur.
Organes secondaires. — N. Attelage du tender. — *m.* Marchepied. — T. Ressorts de suspension. — L. Lanterne. — S. Chasse-pierres. — U. Rail. (*Extrait de la physique de* M. GANOT.)

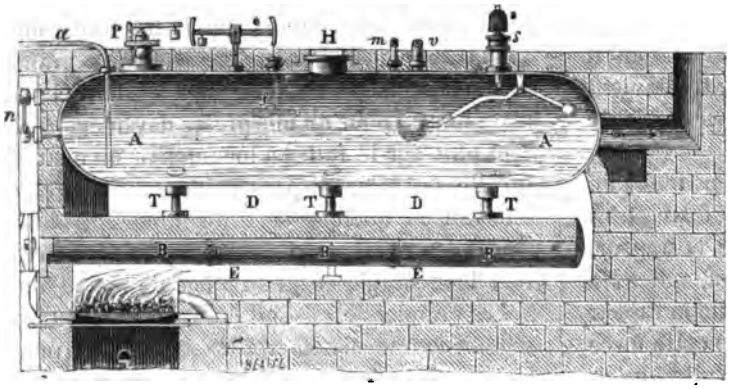


FIG. 44. — Chaudière ordinaire à bouilleurs vue en coupe longitudinale (d'après le *Dictionnaire* de M. B. DUPINEY DE VOREPIERRE).

A. Chaudière principale. — BB. Bouilleurs. — T. Tuyaux de communication entre la chaudière et les bouilleurs. — F. Grille. — CDE. Carneaux pour le passage de la flamme. — *m.* Tuyau d'alimentation. — *v.* Prise de vapeur. — H. Trou d'homme pour le nettoyage de la chaudière. — *n.* Tube de cristal indicateur du niveau. — *a.* Tube indicateur. — *f.* Flotteur indicateur. — *s.* Sifflet d'alarme. — P. Soupape de sûreté.

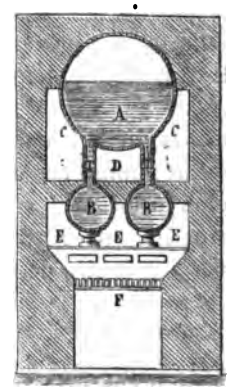


FIG. 45. — Même chaudière vue en coupe transversale.

Digitized by Google

à M. Seguin d'Annonay, que l'on doit de l'avoir fait disparaître.

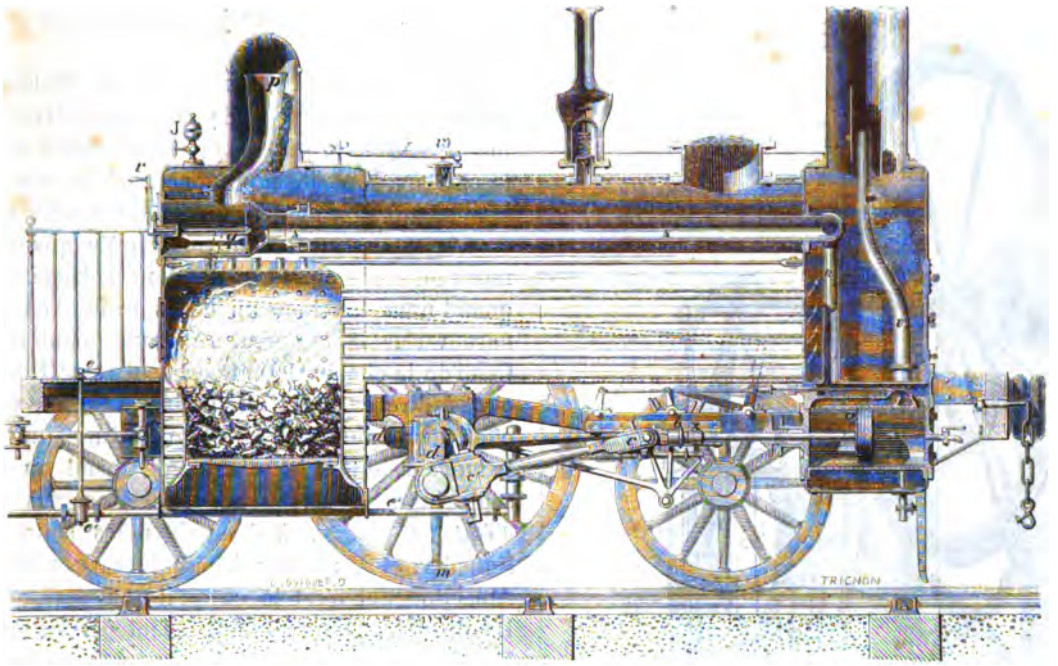


FIG. 46. — Coupe transversale d'une locomotive montrant sa chaudière tubulaire (d'après la *Physique* de M. Pouillet).

Si vous voulez marchez en entraînant une lourde charge, il vous faut beaucoup de puissance, c'est-à-dire beaucoup de vapeur. Et si vous voulez marcher vite en entraînant cette charge, il vous faut produire vite cette grande quantité de vapeur. Or, ce n'est pas en prodiguant outre mesure le combustible que vous atteindrez ce résultat, car la température à laquelle il est possible de porter le foyer est nécessairement limitée, et vous en détermineriez bientôt la fusion ou la dislocation. C'est en augmentant suffisamment l'étendue des parois par lesquelles la chaleur se transmet à l'eau, ou ce que les praticiens appellent la *surface de chauffe*. Avant de s'être bien pénétré de ce côté de la question, on employait des chaudières cylindriques qui ne présentaient que peu de surface. M. Seguin imagina d'y ajouter un grand nombre de tubes plus petits qui traversent la masse liquide, et par lesquels la flamme doit passer pour se rendre dans la cheminée. Cet ensemble, qu'on nomme *chaudière tubulaire*, permet de réaliser facilement dans une locomotive une surface de chauffe atteignant le chiffre énorme de 100 mètres carrés.

Le complément de cette belle découverte a pris naissance en Angleterre. Ce n'était pas tout que d'offrir à la flamme une grande surface, il fallait encore la contraindre à venir en échauffer toutes les parties. A la vérité, la rapidité de la marche a déjà pour effet d'engouffrer l'air chaud du foyer dans les tubes, pourvu que l'on suppose la machine déjà lancée. Mais le moyen décisif, employé pour la première fois par Stephenson, consiste à attirer la flamme dans la cheminée en y faisant le vide par la condensation de la vapeur. Et voici, messieurs, un mot qui a lieu de vous étonner : La condensation dans la cheminée. Jusqu'ici, en effet, nous n'avons vu la condensation se faire que dans l'eau froide, et personne, assurément, ne songe à remplir d'eau froide la cheminée des locomotives. Mais remarquez qu'il eût été impossible de conserver pour ces machines l'ancien procédé et d'y installer un matériel aussi encombrant et aussi lourd que celui du condenseur. Les locomotives ont, au contraire, des machines *à haute pression* (1), c'est-à-dire que la tension de la vapeur y dépasse celle de l'atmosphère, à l'inverse de ce que nous avons vu pour les premières machines que nous avons passées en revue dans l'ordre chronologique. Il n'y aura plus dès lors besoin d'eau froide pour obtenir une chute de pression, il suffira pour cela de laisser la vapeur se répandre librement dans l'air. De là ces alternatives de fumée noire et de vapeur blanche que vous voyez sur les chemins de fer sortir de la même cheminée. De là cette bruyante respiration des machines lente au départ, s'accélérant peu à peu avec la vitesse des locomotives et finissant par se fondre en un bruit continu dans leur course furieuse.

Mais je ne veux pas m'engager davantage dans ces détails, car j'ai un autre projet. Je voudrais, après vous avoir retracé à grands traits le passé des machines à vapeur, vous dire un mot de leur avenir, ou du moins

(1) Le principe des machines à haute pression est dû à Papin lui-même. Le premier appareil qui ait fonctionné efficacement a été construit par Leupold, en 1725.

Digitized by Google

vous indiquer les voies dans lesquelles se dirigent aujourd'hui ceux qui ne désespèrent pas d'arracher de nouveaux secrets à la théorie des machines à feu.

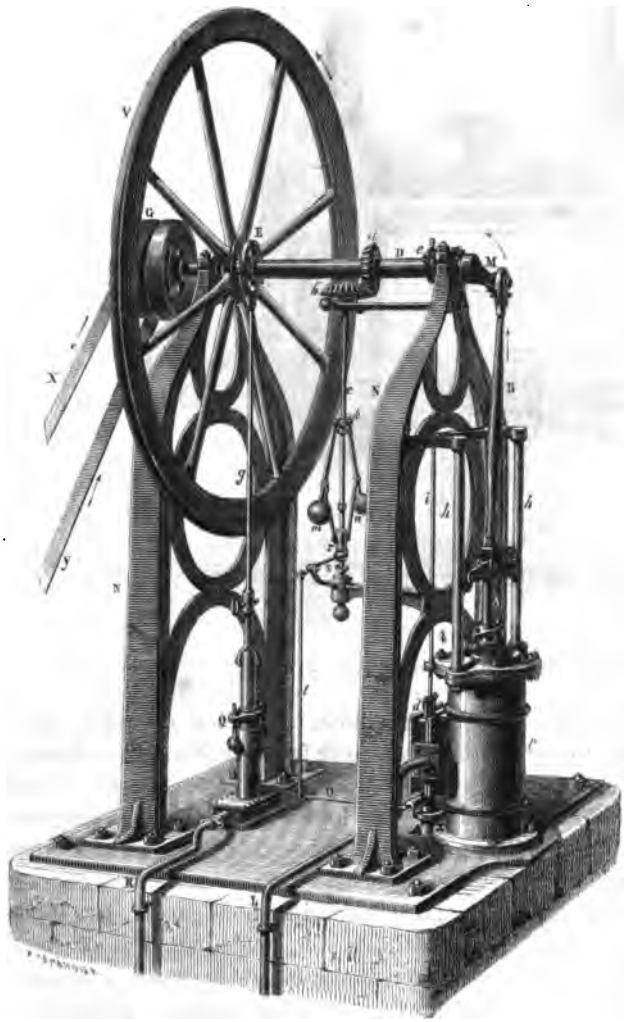


FIG. 47. — Machine à haute pression.

Parties fixes. — N. Bâtis de fonte. — *P.* Cylindre. — *h.* Montants pour guider la tige du piston.

Mécanisme. — A. Tige du piston commandant la bielle B. — B. Bielle conduisant la manivelle M. — M. Manivelle montée sur l'arbre D. — D. Arbre tournant. — G. Poulie de renvoi montée sur l'arbre et portant la courroie Xy. — Xy. Courroie de communication entre le moteur et les métiers à mouvoir. — V. Volant monté sur l'arbre, régularisant le mouvement par sa masse.

Distribution. — *e.* Excentrique monté sur l'arbre D. — *i.* Tige du tiroir menée par l'excentrique *é.* — *d.* Boîte à vapeur où se meut le tiroir. — *x.* Tuyau d'arrivée de vapeur. — L. Tuyau de départ de la vapeur pour la condensation à l'air libre.

Régularisation. — *ab.* Roues d'angle établissant la communication avec l'arbre D. — *c.* Axe du régulateur à force centrifuge. — *k.* Articulation des tiges. — *mn.* Boules. — r. Douille montant le long de la tige *c.* — *sto.* Leviers de renvoi manœuvrant le papillon *x.*

Alimentation. — E. Excentrique monté sur l'arbre D. — *g.* Tige de la pompe alimentaire. — Q. Pompe alimentaire refoulant l'eau par le tuyau R. — R. Tuyau conduisant l'eau à la chaudière. (Extrait de la *Physique* de M. GANOT.)

Et d'abord pourquoi ce terme : *machine à feu,* expression plus générale que celle de machine à vapeur? Y a-t-il donc des machines où le feu, c'est-à-dire l'action de la chaleur, soit utilisé à l'aide d'un autre intermédiaire que la vapeur d'eau? On en connaît déjà plusieurs et je puis vous citer les machines à air chaud, à vapeur régénérée, à éther, à chloroforme, à gaz. Pour vous donner de toutes à la fois une idée claire, je suis obligé de faire appel à des notions qui ont déjà été développées dans ces conférences, et que je commence par rappeler succinctement.

Il y a, messieurs, deux espèces de chaleur, ou, pour parler plus exactement, il y a deux manières d'être, deux manifestations différentes pour cet agent qu'on appelle la chaleur. Nous les nommons chaleur sensible et chaleur latente. La chaleur sensible est celle que tout le monde connaît, celle qui nous brûle quand nous manions un corps chaud, celle dont l'absence nous glace quand nous touchons un corps froid. Son rôle est de faire varier la température d'une manière continue. Celui de la chaleur latente est tout autre. Elle est latente c'est-à-dire cachée, dissimulée. Elle ne produit, en effet, aucun phénomène de température, ou, pour parler le langage de tout le monde, de chaud ou de froid. Sa seule influence consiste à déterminer les *changements d'état* des corps, à désagréger les solides pour les liquéfier, et à raréfier les liquides pour les vaporiser. Ainsi donc, et c'est là ce qu'il nous était nécessaire de bien poser en ce moment, il faut fournir de la chaleur à un corps, non-seulement pour lui faire parcourir toute l'échelle des températures, ce qui était parfaitement évident, mais en outre, ce qui l'était moins, il faut, à deux points fixes de cette échelle, celui de la fusion du corps solide et celui de la vaporisation du liquide fournir encore deux doses de chaleur toutes spéciales.

Gardons-nous, d'ailleurs, de croire que parce que cette chaleur a disparu, est devenue latente, elle soit perdue, anéantie. C'est une vérité philosophique que l'observation tend de plus en plus à élever à l'état d'axiome, que rien ne se perd dans la nature. Pour retrouver toute cette chaleur et la remettre en mesure de nous donner la sensation chaude, il suffit de défaire ce que nous avons fait, c'est-à-dire de laisser condenser la vapeur à l'état liquide ou de laisser congeler de nouveau le liquide à l'état solide. Par ce seul fait, la chaleur latente se trouve régénérée et comme remise en liberté.

Comprenez bien, d'après cela, quelle perte énorme occasionne dans une machine la condensation de la vapeur, après qu'elle a accompli son travail dans le cylindre. Toute la chaleur communiquée à l'eau de la chaudière, rien que pour lui faire prendre l'état gazeux, est perdue. Je dis perdue au point de vue économique, car encore bien, comme nous l'avons dit tout à l'heure, que cette chaleur se retrouve dans l'eau du condenseur qui devient ainsi tiède, c'est là un résultat indifférent pour l'industriel qui n'a que faire de cette eau tiède et la rejette purement et simplement. Or, cette perte est considérable. Comment y remédier?

Un premier moyen consiste à aller rechercher cette chaleur dans l'eau de condensation, et à s'en servir pour vaporiser de nouveau, non plus de l'eau, ce serait évidemment un cercle vicieux, mais un liquide plus volatil

Digitized by Google

que l'eau, par exemple, l'éther ou le chloroforme. Tandis que l'eau bout à 100 degrés, le chloroforme entre en ébullition à la température de 60 degrés et l'éther à 37 degrés. Si donc vous laissez le condenseur élever sa température à ce point, il suffira d'en envelopper une chaudière d'éther pour que celui-ci émette des vapeurs capables de faire marcher une nouvelle machine. Le travail de ce second appareil sera alors une économie toute nette.

On a trouvé un moyen plus simple dans l'emploi de la vapeur régénérée ou réchauffée. L'eau seule y fonctionne sans éther ni chloroforme. Mais il y a, de plus qu'à l'ordinaire, le détail suivant. Supposez que la vapeur partie de la chaudière vient d'agir dans le cylindre, et qu'elle est au bout de sa détente. Dans une machine ordinaire, ce serait le moment de la condenser. Ici, au contraire, nous allons la faire passer dans des tuyaux fortement chauffés. Nous lui rendons ainsi la tension, le ressort qu'elle avait en quittant la chaudière, et qu'elle a perdus en poussant par sa détente le piston. Bien entendu nous employons à cela de la chaleur, c'est-à-dire du combustible, mais ce n'est que de la chaleur sensible, et nous n'avons jamais la prétention de produire du travail sans dépenser de cette sorte de chaleur. Il n'est plus, au contraire, question de nouvelle chaleur latente. Celle-ci a été fournie une première fois à la vapeur pour la former, mais nous n'avons en ce moment aucun changement d'état. Cette vapeur ainsi réchauffée va agir dans un second cylindre, et de cette manière, pour une même dose de chaleur latente destinée à être perdue en définitive, vous aurez deux doses de travail produit. Et vous en auriez, en quelque sorte, trois, quatre ou cinq en réchauffant trois, quatre ou cinq fois cette même vapeur, s'il n'y avait à cela d'autres inconvénients. Telle est la machine calorique d'Éricson.

De là à la machine à air chaud il n'y a qu'un pas. Tout l'artifice précédent consiste, comme vous le voyez, à nous procurer un fluide gazeux par la réduction de l'eau en vapeur avec un certain sacrifice de chaleur latente, et de nous en servir pour ainsi dire indéfiniment avant de la laisser retomber à l'état liquide. Il sera évidemment bien plus simple d'employer un fluide tout formé. Or, il y en existe un encore plus répandu, et encore moins cher que l'eau. C'est l'air qui nous environne et que nous respirons. De là les machines à air chaud, qui sont en ce moment en Amérique un objet d'engouement.

Un mot enfin, messieurs, sur la sœur cadette de la machine à vapeur, sur la machine à gaz. Le principe en est dû à Lebon, ingénieur des ponts et chaussées, inventeur en 1801 de l'éclairage au gaz; mais l'état actuel de ces machines appartient à M. Lenoir, dont elles portent le nom.

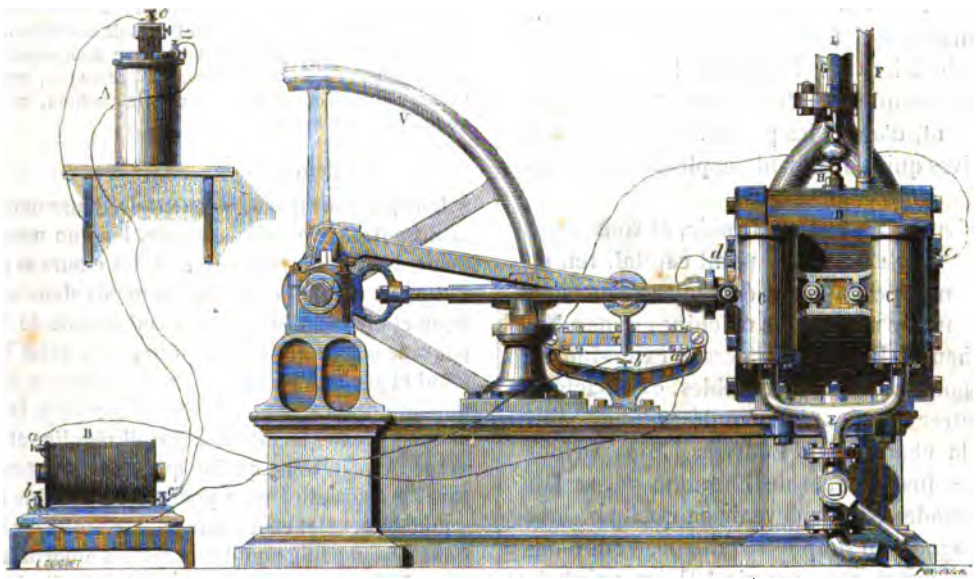


FIG. 48. — Machine à gaz.

A. — Pile électrique. — B. Bobine de Ruhmkorff. — *abcde*. Fils métalliques conducteurs du courant. — T. Index métallique mobile avec la tige de piston pour fermer ou disjoindre le circuit métallique. — D. Cylindre et double enveloppe à circulation d'eau froide. — EC. Arrivée du gaz. — G. Arrivée de l'eau froide par le bas. — F. Sortie de l'eau échauffée par le haut. — H. Robinet de la double enveloppe. — V. Volant régularisant le mouvement par sa masse (d'après la *Mécanique* de M. Prévot-Deschanel).

Il peut sembler singulier, au premier abord, que l'on songe à substituer le gaz de l'éclairage à un fluide aussi commode, aussi abondant et aussi peu dispendieux que l'air. Mais le gaz présente sur ce dernier un avantage qui, dans beaucoup de conditions, sera décisif. Il possède en lui-même une source de chaleur, et il est capable de s'échauffer tout seul. Un foyer séparé est toujours nécessaire pour les machines à vapeur ou pour les machines à air chaud. Ici, au contraire, il suffit de mélanger le gaz d'une certaine quantité d'air, et d'y faire passer une étincelle électrique. Cet agent mystérieux provoque la combinaison chimique des éléments de l'air et du gaz, c'est-

Digitized by Google

à-dire la combustion de ce dernier, laquelle est accompagnée d'un énorme dégagement de chaleur. Le mélange se trouve ainsi porté à une haute température, et il acquiert une élasticité, un ressort dont nous utiliserons la détente au moyen d'un cylindre et d'un piston, comme nous l'avons fait pour la vapeur et pour l'air chaud.

Vous apercevez ici deux tiroirs. L'un sert à l'introduction du mélange. Le gaz est fourni par ce tuyau, l'air est simplement aspiré. Cet autre tiroir est destiné à la sortie des produits de la combustion. Le courant électrique arrive par ces fils métalliques, et parvient aux deux extrémités du cylindre à ces petits organes qu'on appelle *inflammateurs*, et dont le rôle est d'exciter à l'intérieur l'étincelle électrique. Pour que cette étincelle éclate successivement sur les deux faces du piston, on a soin de faire passer le courant par l'intermédiaire de cette pièce tournante qui frotte sur des parties successivement conductrices et isolantes. Le courant se trouve par là incessamment interrompu et rétabli, et ce sont précisément, d'après les propriétés de l'électricité, ces alternatives qui provoquent l'explosion de l'étincelle.

Telle est, messieurs, la machine Lenoir, et vous voyez qu'elle fonctionne sans chaudière, point capital. Ici, en effet, plus de temps perdu pour échauffer d'énormes quantités d'eau avant de mettre une machine en marche; elle obéit sur l'heure. Plus de dangers d'explosion de ces appareils encombrants et redoutables. La machine Lenoir peut pénétrer dans les plus simples ateliers, pour ainsi dire dans la chambre de l'ouvrier. Nous voyons donc le géant des instruments de l'homme qui se fait petit, qui se fait modeste pour devenir en quelque sorte l'aide et le compagnon du simple travailleur. Vous trouverez sans doute, messieurs, que c'est là un point de vue qui a perdu de son côté grandiose, mais que ce n'est pas pour cela le moins important.

Je m'arrête, messieurs, et sans doute aurais-je dû plus tôt me souvenir que si le sujet que j'avais embrassé est sans limites, il n'en saurait être de même de la patience la mieux disposée.

J. N. HATON DE LA GOUPILLIÈRE.

CONGRÈS DES NATURALISTES ALLEMANDS.

SESSION TENUE A HANOVRE.

DISCOURS DE M. R. VIRCHOW.

Du développement national des sciences naturelles (1).

Si je publie isolément le discours suivant, au lieu d'attendre la publication du compte rendu officiel des séances de l'association des naturalistes, ce n'est pas que je lui attribue une importance tellement grande que tout retard soit à craindre, c'est parce qu'il a été l'objet des attaques les plus violentes, parce qu'on l'a défiguré, et qu'il a donné lieu à des malentendus et excité des colères.

Je ne parle pas de ce qu'on m'a dit à Hanovre, d'un représentant de la Russie qui aurait quitté la salle au moment où je désignais les résolutions de Carlsbad comme les suites indirectes de la politique du czar de cette époque-là; une pareille susceptibilité n'aurait pas de raison d'être. J'ai eu occasion de donner verbalement à un naturaliste belge que j'estime beaucoup l'assurance que je n'ai voulu ni exclure les savants étrangers de nos réunions allemandes, ni attaquer la foi catholique, et que mon discours n'a rien contenu d'analogue à ce qu'il a cru y comprendre. Il me sera peut-être permis d'attribuer ce malentendu au peu d'usage qu'il a de notre langue.

Mais c'est surtout une partie de la presse médicale autrichienne qui a représenté dans les termes les plus violents et les plus odieux mon discours, comme dirigé réellement contre l'Autriche, et qui l'a jugé sans même se donner la peine de citer d'une manière ou d'une autre la pensée qui le domine.

Le meilleur moyen de répondre à ces attaques ouvertement hostiles, c'est de publier complétement mon discours tel que la sténographie l'a recueilli pour le bureau de l'Association des naturalistes; j'ai naturellement introduit quelques améliorations dans la rédaction; mais, quant au reste, il est la reproduction fidèle du discours prononcé. Peut-être mon discours deviendra-t-il l'objet de nouvelles attaques différentes des précédentes; j'espère cependant que mon exposition, qui est peut-être nouvelle sous plus d'un rapport, reproduit, avec rigueur et exactitude, l'enchaînement historique de la question, et que par suite elle ne redoute aucune attaque.

Messieurs,

Lorsque nous nous souvenons des jours nombreux que nous avons autrefois passés ensemble, lorsque nous songeons comment, dans le cours des années, les cœurs se sont rapprochés, comment une foule de dissentiments dans notre vie scientifique et civile ont disparu ou sont en voie de disparaître, nous pouvons affirmer que l'extension qu'a prise la science en général et surtout la science de la nature, a donné à nos fêtes une importance nationale dans l'acception la plus rigoureuse de ce mot. Elles facilitent le travail régulier et l'influence commune de nous tous, quelle que soit la distance qui nous sépare; grâce à elles, nous poursuivons de plus en plus des buts semblables, et les efforts que nous faisons pour les atteindre s'affranchissent peu à peu d'une foule d'amertumes personnelles. C'est dans ce sens qu'Oken a conçu dès l'origine l'association des naturalistes; elle devait servir de modèle, mais de modèle destiné à guider sous d'autres rapports encore la vie allemande, elle devait être un moyen de réunion de l'esprit allemand. Nous savons que cette pensée n'a pas été introduite après coup dans l'association, elle a été réellement de tout temps son guide.

Ce n'est pourtant pas cette réflexion qui m'a amené à traiter ce sujet devant vous; il m'a semblé que nous devrions jeter nos regards sur les tendances plus générales de la vie scientifique, sur tout ce qui pourrait nous rappeler les grands changements qui s'accomplissent sous nos yeux dans la marche de la science et dans son développement. Car le naturaliste ne peut espérer poursuivre sûrement son chemin que s'il se fait une idée parfaitement nette des tendances de la science et des considérations qui y prennent place, que s'il prend bien garde de ne pas se renfermer trop exclusivement dans sa *spécialité* et de ne pas oublier la *portée générale* que doit avoir toute science.

Il y a quelques jours, j'entrais dans cette salle et je passais en

---

(1) Nous donnerons, dans ce discours, aux mots « science naturelle » et « naturaliste » la signification des mots allemands « *Naturwissenschaft* » et « *Naturforscher* ». Par *Naturwissenschaft* (science de la nature), on entend les sciences qui s'occupent de l'étude de la nature, telles que l'astronomie, la physique, la chimie, l'histoire naturelle, etc., et l'on donne le nom de *Naturforscher* (scrutateur de la nature) à tout savant qui s'occupe de l'une de ces sciences. (Feltz.)

Digitized by Google

revue les noms des grands naturalistes que notre comité a fait écrire sur les murs. Alors une question vint frapper vivement mon esprit. Je me demandais quelle part notre peuple a prise au développement des sciences naturelles et de la culture intellectuelle générale, et jusqu'à quel point de nouveaux noms surgissant au milieu de nous prouvent notre persévérance dans le rôle que nous devons jouer dans l'histoire de la civilisation. J'avoue, sans pour cela vouloir critiquer le choix fait par notre comité, qu'à côté de plus d'un nom étranger, on aurait pu placer un nom allemand; cependant je suis forcé de convenir avec ces messieurs que nous ne sommes pas encore en état de couvrir de noms allemands seuls les murs de notre salle de réunion. Vous me direz peut-être que ce serait là un faux orgueil et que la science de la nature n'a pas du tout pour but de faire ressortir telle ou telle *nationalité;* elle est essentiellement cosmopolite, me direz-vous, et nous sommes tous des membres de la grande république des savants qui tend à absorber toute espèce de nationalité. La vue des noms inscrits sur ces murs fait surgir dans mon esprit une série de pensées qui semblent m'autoriser à combattre cette manière de voir.

Lorsque je me reporte à l'origine de ce quelque chose que nous appelons science naturelle, je trouve que cette science a pris naissance dans les grandes familles européennes au moment où chacune d'elles vit surgir dans son sein une méthode spéciale de recherches et un cercle d'hommes indépendants sachant trouver dans le génie même de leur peuple une méthode appropriée aux recherches naturelles. Chez nous, en Allemagne, lorsque nous reportons nos regards derrière nous pour voir quand la science de la nature a pris une importance réelle, nous voyons clairement, que la première manifestation énergique de son existence propre, l'instant où elle commence à prendre une importance générale dans l'histoire de la culture intellectuelle, coïncide à peu près avec le grand mouvement des esprits, le premier acte vraiment national de l'Allemagne qui a trouvé son expression dans la réforme. Jusqu'à la réforme, on ne trouve chez nous, à part quelques essais timides, pas un seul exemple notable de véritable conception scientifique, indépendante et originale. La manière même dont les hommes pensaient, dont ils travaillaient, la forme même qu'ils donnaient à ce quelque chose qu'ils appelaient science, tout cela diffère si essentiellement de ce que nous entendons aujourd'hui par travail intellectuel, par travail scientifique, qu'on a réellement beaucoup de peine à se reporter par la pensée au milieu d'un tel état de choses.

Quant à moi, j'ai trouvé tout récemment une occasion particulièrement favorable à de pareilles remarques; je veux parler du 500e anniversaire célébré par l'Université de Vienne. Je me suis rappelé ce qu'on a fait pendant ces cinq cents ans, et je me suis demandé ce que cinq cents ans de travaux scientifiques sérieux auraient pu produire pour le bonheur d'un peuple ou de l'humanité en général. Je me suis demandé : qu'est-ce que l'Université de Vienne a fait durant ces cinq cents ans pour l'histoire de l'esprit allemand, pour l'histoire intellectuelle de l'humanité? Il me fut impossible de remonter au delà du dernier siècle. Dans les quatre premiers siècles de son existence, je n'ai en réalité trouvé, à part quelques poëtes couronnés, aucun nom digne de figurer dans l'histoire intellectuelle de l'humanité; mes collègues de la Faculté de médecine seuls ont une importance réelle, car depuis 1745, une série honorable et brillante de médecins distingués a illustré l'École de médecine de Vienne. Dernièrement j'ai eu occasion de lire l'histoire de l'Université de Vienne par le docteur R. Perkmann, et j'ai pu m'assurer que les historiens spéciaux justifient pleinement mes conclusions, qu'on aurait peut-être pu attribuer à mon ignorance de l'histoire; il est bien vrai que l'Université de Vienne n'a rien produit de remarquable pendant les quatre cents premières années de son existence. Si je me demande maintenant pourquoi les choses se sont ainsi passées, pourquoi il n'a pas été donné à l'Université de Vienne de célébrer un 500e anniversaire glorieux sans mentir à son histoire, je suis obligé de dire que la faute n'en est pas à elle seule; il y a d'autres causes, et ces causes les voici : la science n'avait aucun caractère national, *la science avait sa source réelle de l'autre côté des Alpes.*

Certainement, nous reconnaissons tous la grande influence que le christianisme, et surtout le christianisme romain, a exercé sur l'histoire intellectuelle de l'humanité; nous reconnaissons tous que pendant des siècles entiers toute culture intellectuelle était concentrée dans l'Église et bornée à la science de l'Église en dehors de laquelle il n'y avait aucune espèce de grande connaissance, aucune espèce de science naturelle. Nous nous souvenons avec gratitude que tous nos premiers travaux d'histoire naturelle sont dus, à partir d'Albert le Grand (1), à des hommes d'Église ou même à des femmes d'Église, comme nous le prouve l'exemple de sainte Hildegarde. Mais ces travaux n'ont rien d'original, rien qui soit sorti de l'esprit même de ces hommes ou de ces femmes. Nous pouvons, sans hésitation aucune, affirmer que le grand évêque Albertus est bien petit quand nous mesurons sa valeur d'après nos idées scientifiques actuelles : il fut un *grand disciple* mais un *petit maître.* Il avait appris beaucoup, beaucoup lu et beaucoup écrit, mais il a infiniment peu vu par lui-même, fort peu pensé et jugé par lui-même. Il avait été élevé dans le système dogmatique qu'Aristote, — je crois que son nom brille sur ce mur derrière mon dos, — qu'Aristote nous a transmis à travers la suite des siècles, et que l'Église s'était entièrement assimilé.

Cette incorporation de toute science dans l'Église, cette manière de transformer toute culture intellectuelle en science d'Église, enseignée seulement sur le sol sacré des écoles de l'Église, voilà les causes qui ont dirigé tout le mouvement intellectuel jusqu'à l'époque de la réforme, les causes qui ont fait végéter l'Université de Vienne pendant des siècles, même après la réforme. Ceci, il faut bien l'avouer, tient à cette circonstance particulière que les princes de Habsbourg ont réussi à abattre l'esprit d'indépendance, l'esprit protestant, qui régnait alors dans l'Université, et pour cela ils n'ont pas reculé devant les incarcérations, les auto-da-fé et les exécutions, telles que l'inquisition seule savait les imaginer. Le peuple allemand se soulevait contre Rome, l'esprit de la libre pensée s'enracinait dans tous les cœurs, le sacerdoce universel mettait, lui aussi, la main sur la nature, et chacun se débarrassait de plus en plus des liens scolastiques de la science transmise afin de former son propre esprit par de sérieuses épreuves et devenir lui-même observateur et expérimentateur réel et indépendant et par là maître réel et indépendant de la nature. Au contraire, on est resté en arrière partout où l'on a réussi à maintenir debout dans la science les formes d'É-

(1) Albertus Magnus était le premier des noms inscrits sur les murs de la salle des réunions.

Digitized by Google

glise, partout où l'on a réussi à fixer le développement de l'école dans les liens de l'Église. Messieurs, je n'ai pas besoin de vous rappeler que ce servage a continué à subsister jusqu'à nos jours dans toutes les provinces romaines du Sud. Nous avons sous les yeux un exemple plein d'enseignements; ne voyons-nous pas la nation italienne qui, pendant des siècles, je dirai même pendant des milliers d'années, a progressé, a développé le germe indestructible de civilisation qui était en elle, qui a produit de si magnifiques choses dans toutes les sciences humaines, alors que les villes d'Italie se développaient en républiques libres, ne la voyons-nous pas, reculer de siècle en siècle, à partir de cette époque, au point que de nos jours encore, à part quelques brillantes exceptions, la plus grande partie de la littérature italienne a conservé les formes scolastiques, l'érudition stérile telle que nous la trouvons dans les écrits allemands du xve ou du xvie siècle.

Je crois pouvoir affirmer que c'est de l'époque où l'on nous envoyait d'au delà des Alpes des formules toutes faites pour penser, formules qui naturellement nous venaient dans une langue étrangère, de cette époque où la langue latine était la langue des savants, que date ce faux orgueil qu'il est encore impossible de dompter chez quelques savants de nos jours. Ils croient que sans latin il ne peut y avoir de véritable érudition, ils croient que sans les formes scolastiques que nos ancêtres nous ont transmises, tout le mécanisme savant est incomplet, et que l'on ne pourrait se présenter sur le marché de l'érudition sans être paré de la forme roide et lourde de la vieille science. Il me semble qu'en voyant tout ce que notre peuple a fait depuis la réforme pour augmenter son capital intellectuel, en voyant les résultats conquis par un siècle d'efforts et en les comparant à ceux des nombreux siècles précédents, le partisan le plus enthousiaste du *romanisme* et du *latinisme* sera forcé d'avouer que plus l'érudition s'est fondue dans les connaissances communes de la nation, plus aussi le bien-être du peuple a augmenté, plus aussi la richesse de l'État s'est accrue. Bien plus, la *science a pris une influence de plus en plus grande sur la pensée de tous, et à mesure que le domaine intellectuel de la nation s'est agrandi, les recherches des savants en ont subi l'influence féconde.*

Songez, messieurs, au temps relativement très-court qui sépare Leibnitz et Oken, ces deux hommes dont tout nous rappelle ici l'existence; l'un d'eux a vécu et travaillé dans cette ville, l'autre a conçu l'idée de notre association. Leibnitz, alors que la langue latine était partout repoussée, subissait les entraves de la langue française; Leibnitz a été le plus ardent propagateur des idées de république savante; pour lui, toute science était éminemment cosmopolite. Oken, au contraire, à une époque où la puissante stimulation de la guerre de l'indépendance agissait encore sur les cœurs, a le premier pensé qu'il doit y avoir une *science allemande*, que la science doit se combiner de la manière la plus intime avec la vie de la nation, et que cette union seule peut assurer à toutes les deux la durée et la certitude du progrès que nous désirons tous. Nous nous rappelons tous comme on a décrié Oken, comme on l'a traité de grand révolutionnaire, parce qu'il a osé chercher des formes constitutionnelles pour notre vie publique, et des formes nationales, plus libres pour notre science. Nous nous rappelons tous combien la roideur française, qui pesait sur nos connaissances allemandes et qu'on n'a secouée que peu à peu vers la fin du dernier siècle, a réagi jusqu'à nos jours sur notre science. La prépondérance de la science française s'est fait sentir si longtemps et si fortement, même à côté de notre propre action, que nous devons saluer comme une véritable émancipation le succès de notre génération, qui a enfin réussi, dans toutes les branches de nos connaissances, à placer courageusement le travail intellectuel allemand à côté, bien au-dessus même de la science française. Tout ceci, messieurs, ne date que du commencement de ce siècle; tant est courte l'histoire des recherches originales en Allemagne. Oui, il est grand le progrès accompli pendant ces quarante années d'existence de notre Société; souvenons-nous que lorsque ses premiers membres se réunirent, pour la première fois en 1822, à Leipzig, ils furent presque obligés de se cacher; on a même supprimé des noms sur les premières listes, parce que les membres autrichiens couraient risque d'être emprisonnés à leur retour. Ces noms n'ont été publiés qu'en 1861 à la réunion des naturalistes à Spire. Il me sera donc permis, messieurs, de dire que nous ressentons un noble orgueil de nous voir réunis ouvertement et librement, de voir le représentant du gouvernement royal du Hanovre venir à la place même où parlent les naturalistes, témoigner des sentiments gracieux de son gouvernement pour notre association. C'est là un progrès que chacun de nous doit sentir, car il est l'œuvre de tous, et je vous le déclare franchement : lorsque dans les jours que nous traversons, il me devient difficile de conserver l'espoir et la confiance, il me suffit toujours, pour relever mon courage, de jeter les yeux sur les résultats que la génération actuelle a conquis par son travail intellectuel dans la véritable voie scientifique.

Je puis affirmer que le caractère de la science allemande a beaucoup emprunté à la véritable gravité morale avec laquelle notre peuple se soumet à tout travail, et qui est le caractère propre de ses dispositions religieuses. Je ne crains pas de le dire, la science est devenue une religion pour nous, et dans cette fidélité vraiment religieuse à la science naturelle, les naturalistes ont puisé de nouvelles forces pour la fidélité à la loi, fidélité que nous saurons toujours conserver. Il me semble que ce n'est pas là une petite chose que cette influence de la science naturelle sur les habitudes de la nation; il est beau de pouvoir dire qu'elle a participé pour une bonne part à l'*émancipation morale* de notre peuple.

L'association des naturalistes en 1822 a été le premier acte d'une réunion libre d'hommes allemands unis dans un but commun, unis dans un but allemand. Les réunions des naturalistes allemands sont restées pendant des années entières les seules réunions de ce genre. Mais la mémoire des peuples comme celle des individus est souvent de courte durée; c'est ainsi, par exemple, qu'on a attribué aux associations les plus récentes, aux associations d'économie nationale, le mérite d'avoir fait comprendre au peuple l'utilité de pareilles associations. Messieurs, pendant trente ans, l'association des naturalistes a travaillé à préparer la nation aux idées qui se développent maintenant dans nos associations d'économie nationale. Ce que nous *appelons économie nationale en Allemagne ne me semble être autre chose que la science naturelle appliquée à la vie immédiate du peuple*, et sous ce rapport, je puis considérer l'association d'économie nationale comme une autre face, comme une fille de notre association. C'est nous qui avons préparé le terrain, qui avons rendu possible cette analyse impartiale de la vie du peuple par la science naturelle. Si, sous l'influence de l'économie nationale, la vie du peuple devient de plus en plus la base des sciences politiques, nous

Digitized by Google

pouvons reconnaître par là combien la méthode des sciences naturelles est devenue puissante.

Ce n'est plus là la manière de penser, telle que Rome l'avait introduite en Allemagne. La manière romaine de considérer la société humaine et l'état humain était et est encore tout autre. Ce n'est pas non plus la manière telle que Leibnitz l'a enseignée, la manière qui nous était venue de la France où elle régit encore maintenant la société et l'État. C'est là la manière de concevoir propre aux Allemands, elle n'a de racines sur aucun sol étranger, elle ressort de l'étude approfondie de *notre* manière d'être, de *notre* nature. Et si la forme même de toute recherche, si la méthode de toute analyse se rapproche de plus en plus de la méthode suivie en premier lieu par la science naturelle, je puis en toute confiance assurer que notre manière de penser, le *penser sans autorité*, est appelé par le fait même du développement de plus en plus vaste de la science naturelle à devenir la base de toute la vie du peuple allemand. *Notre émancipation dans la pensée matérielle sera probablement aussi suivie de notre émancipation dans la pensée spirituelle* (1).

Les hommes d'État de nos jours se sont peu à peu habitués à voir les sciences naturelles légitimées dans l'État; ils n'en ont pas moins gardé l'idée que les naturalistes sont des animaux domestiques utiles sous certains rapports, que l'État doit avoir soin d'apprivoiser avec le temps, car réellement ils ont encore quelque chose de sauvage, afin de mettre à profit selon les besoins du moment les qualités propres à chacun de ces animaux domestiques. En fin de compte, c'est le contribuable qui est l'unité de mesure, et si les sciences naturelles contribuent réellement, non pas toujours à augmenter le nombre des contribuables, mais à augmenter les moyens de chaque contribuable en particulier, elles ouvrent plus largement les trésors de la nature que chaque individu ramène portion par portion au trésor de l'État, et pourtant les hommes d'État s'imaginent faire un grand honneur aux sciences naturelles en reconnaissant qu'elles peuvent rendre des services. J'avoue qu'il nous est resté encore un certain respect traditionnel provenant de ce que les savants, pendant la vieille période romaine, étaient considérés comme les représentants de la pensée hiérarchique, et comme tels recevaient des honneurs politiques; il en résulte que maintenant encore on a pour nous une espèce de respect religieux. Mais la véritable cause, du moins à ce que j'ai pu en juger jusqu'ici, a toujours été une cause financière et pratique; on a reconnu que, dans nos États modernes, la science naturelle prend une importance de plus en plus grande, parce qu'elle nous fixe sur les différentes couches de nos montagnes, parce qu'elle met au jour de nouveaux métaux et d'autres produits minéraux, parce qu'elle nous fait connaître de nouvelles plantes, de nouveaux fourrages, de nouveaux aliments, enfin parce qu'elle nous donne le moyen de produire des plantes qui ornent les serres et les appartements des riches et répandent partout l'aisance et le bien-être, etc.

Je crois que ce point de vue étroit doit disparaître, et il disparaîtra certainement; on se convaincra de plus en plus que les sciences naturelles n'ont pas pour unique but de faciliter le gouvernement des États par l'amélioration de la position des citoyens; on verra qu'elles ont un autre effet important, car elles introduisent dans les écoles, et plus tard dans la vie et dans l'esprit des hommes, de nouvelles connaissances qu'on ne saurait traiter dans les formes dogmatiques. Personne ne voudrait croire que telle plante a telle ou telle fleur si l'on n'était pas en mesure de la lui montrer en temps opportun. On ne pourra toujours maintenir cette transmission purement traditionnelle et dogmatique, cette répétition inintelligente, ce rabachage sans fin, de connaissances posées à l'état de dogmes, si une seule étincelle de science naturelle jaillit dans les écoles. Messieurs, n'allez pas croire que c'est M. le conseiller privé Stiehl qui le premier a énoncé cette vérité : « Qui tient en main l'école tient en main l'avenir. » C'est là une pensée que Leibnitz a exprimée, il y a longtemps, en ces termes : « Qui possède l'école est maître de la génération future. » On pourrait croire que c'est chose très-facile de se rendre maître des écoles; il suffirait, dira-t-on, d'énoncer un formulaire destiné à régler la manière dont l'enseignement doit se faire. Mais, chose curieuse, c'est là un moyen complétement insuffisant. On a constaté que cette *mauvaise* science naturelle pénètre par je ne sais quels trous, par je ne sais quels pores dans l'école; elle transsude pour ainsi dire à travers le formulaire dont la porosité augmente d'année en année. Peu à peu la méthode des sciences naturelles pénètre dans les écoles, tant il est vrai qu'elle est la véritable méthode propre à l'esprit humain.

Une foule de personnes éprouvent encore de nos jours une grande répugnance à se figurer, qu'en fin de compte, toute pensée est un effet mécanique, qu'il y a fort peu de profit à tirer de la spontanéité en général, qu'ici comme partout ailleurs il existe un rapport direct de cause à effet, et que les choses se succèdent et procèdent régulièrement les unes des autres. Ceux qui s'efforcent encore de voiler ce mystère que la science a éclairci apprendront peu à peu à apprécier toute la justesse de la méthode de penser fondée sur l'autopsie; je suis persuadé qu'il ne faudra pour cela aucune action révolutionnaire, l'habitude seule que prend tout homme de se laisser diriger par cette méthode de penser *mécaniquement*, sera suffisante. Ils seront forcés de se laisser gagner peu à peu. A mesure qu'ils céderont, à mesure que nous apprendrons tous à penser partout et toujours, naturellement et sans préjugés, la nation, j'en suis convaincu, se débarrassera de tous les obstacles qui s'opposent au développement naturel de ses destinées.

Je n'ai jamais eu l'habitude de prophétiser, de m'occuper même de prophéties; je suis plus habitué à poser des pronostics sur la marche des maladies ou de la vie en prenant pour base des faits bien constatés par l'expérience. C'est à ce point de vue que je me place pour examiner la vie de notre nation. Quand j'examine l'uniformité de pensée qui s'introduit de plus en plus dans le développement des sciences naturelles et dans tout ce qui s'y rattache, dans l'industrie, dans la technologie, dans la vie ordinaire de l'ouvrier, d'un côté, dans les savantes recherches de la statistique de l'économie nationale et de l'économie politique, de l'autre côté; quand je vois la méthode expérimentale prendre place dans l'histoire, dans la philologie, dans la philosophie même; quand je constate la difficulté de plus en plus grande que nous éprouvons à délimiter la spécialité de chacun de nous, malgré toute espèce de limites qui ont encore l'air de nous séparer; quand toutes nos conceptions se condensent peu à peu pour devenir des convictions générales ; alors, messieurs, je crois que nous

(1) Pour éviter tout malentendu, je fais remarquer que, par *pensée matérielle* et par *pensée spirituelle* j'entends *pensée sur des objets matériels* ou *spirituels*. — V.

Digitized by Google

pouvons être sûrs que l'importance nationale que les sciences naturelles ont prise chez nous depuis cinquante ans seulement, grandira, et que, pour les cinquante années qui vont suivre, elles nous promettent des résultats bien plus beaux pour toutes les branches de la vie nationale, pour le *bien-être matériel*, pour le *véritable développement de l'esprit*.

Quant à nous, nous avons l'obligation de toujours nous rappeler que nous devons notre aptitude aux recherches naturelles à la seule circonstance que nos prédécesseurs et nous-même nous nous sommes rattachés de plus en plus à la vie nationale. J'affirme que, si la science naturelle allemande avait conservé son caractère romain et français, nous ne serions pas ici, messieurs. Ce n'est que de l'époque où une méthode meilleure fut introduite dans la science, et cette méthode y fut introduite en premier lieu dans les États protestants, dans les Pays-Bas et en Angleterre (je suis content de pouvoir constater ici que l'Université hanovrienne a été une des premières à profiter de cette nouvelle méthode), ce n'est que de cette époque-là, c'est-à-dire du milieu du siècle précédent, que nous pouvons dater l'apparition d'un nouvel esprit dans la science. Mais qu'on tente de nouveau d'enrayer la marche du progrès par des obstacles analogues à ceux auxquels on a eu recours autrefois, ceci, messieurs, me paraît complétement impossible. Il est loin derrière nous le temps où il fut possible de mettre des freins à l'esprit de la libre recherche. Hélas! nous avons appris à différentes reprises comment l'étranger sait dénoncer cet esprit de la libre recherche allemande à nos gouvernements indigènes qui ont essayé quelquefois de le combattre. Rappelez-vous qu'au concile de Constance, le nonce du pape protesta contre l'esprit que les universités allemandes avaient développé, et qu'il proposa au concile de conclure à la fermeture de toutes les universités allemandes. Je puis bien rappeler qu'il n'y a pas encore cinquante ans que l'empereur de toutes les Russies chargea son nonce d'élever de pareilles accusations, et il réussit à réunir quelques princes allemands à Carlsbad et à leur faire prendre des arrêtés semblables à ceux qui avaient complétement échoué à Constance. Mais, messieurs, cet anachronisme des conclusions de Carlsbad, cet anachronisme absolu s'est trouvé absolument sans effet aucun. On a vu que jamais essai, — j'ose à peine qualifier cet essai, — jamais essai aussi complétement faux n'a été tenté dans le but d'enchaîner l'esprit d'une nation. Ce sont justement ces conclusions de Carlsbad qui ont réveillé dans toutes les universités le libre esprit du développement national. Messieurs, si l'on devait de nouveau essayer de brider l'esprit allemand par l'emploi régulier de pareilles mesures, notre nation, tel est mon espoir, montrera qu'un pareil essai ne peut servir qu'à faire briller davantage le véritable esprit original de l'indépendance complète de l'esprit allemand.

Telles sont les réflexions que j'ai cru devoir vous présenter dans une réunion de naturalistes allemands, parce qu'il faut que nous nous habituions peu à peu à nous mettre en communication plus intime encore que nous ne l'avons fait jusqu'ici avec notre nation.

Lorsque la Société des naturalistes fut fondée, il n'y eut pas de sections, il n'y eut qu'une seule réunion de naturalistes. Cette réunion unique était, ce que nous représentons en ce moment, la séance générale de la Société des naturalistes; les sections ont été créées plus tard. La séance générale de notre Société avait pour but de mettre en communication les naturalistes qui cultivent les différentes branches des sciences naturelles, de leur donner l'occasion d'agir les uns sur les autres, de s'entendre entre eux de manière à ne pas permettre qu'un naturaliste puisse, à défaut de moyens de communication, se faire une idée complétement fausse d'un naturaliste d'une autre branche. Il arrive encore toujours qu'un chimiste ou un physicien raisonne tout à fait mécaniquement aussi longtemps qu'il reste dans son domaine, tandis que, dès qu'il parle physiologie, il raisonne de nouveau complétement à la romaine. Immédiatement il redevient une partie de l'organisation hiérarchique. En lisant le travail le plus récent sur l'histoire de l'Université de Vienne, j'ai vu que la Faculté de théologie était chargée d'être la gardienne de toutes les autres facultés comme la plus élevée de toutes, et qu'elle s'est acquittée de cette fonction en véritable tribunal d'inquisition. A cette occasion, je me suis rappelé que des naturalistes célèbres de nos jours n'ont pas craint de s'élever en inquisiteurs au-dessus des naturalistes d'autres branches, et de refuser aux autres ce même raisonnement indépendant dont ils prétendent user dans leur spécialité, et cela parce qu'ils ne peuvent le concevoir chez d'autres.

Messieurs, cette manière que je peux bien appeler féodale, de vouloir que chacun reste dans son château fort en véritable baron allemand libre et indépendant, cette manière de permettre à chacun de trôner dans son château pourvu qu'il ne se mêle pas de vouloir exercer une influence générale quelconque, cette manière féodale ne peut que disparaître par un contact réciproque. Lorsqu'on se réunit dans une salle commune pour discuter en règle, il devient complétement inutile de se combattre de loin avec de la grosse artillerie. Notre nouvelle éducation nous a fait retrouver la véritable forme des discussiouss; nous pouvons exposer nos convictions d'une manière honorable. Je voudrais bien voir un chimiste attaquer le libre raisonnement d'un physiologiste dans une réunion de naturalistes; il serait certainement combattu par sa propre méthode. Le morcellement de l'association des sciences naturelles en sections isolées, a produit en petit ce que la manie des petits États a produit en grand, et je crois qu'il nous faudra retrouver enfin des moyens d'arriver à produire une action uniforme de l'ensemble, et à réunir nos tendances sur un terrain unique.

Je crois que, sous ce rapport, la meilleure méthode est celle que l'association des naturalistes anglais, fondée il y a quelques années, a admise. Des hommes remarquables dans les différentes branches des sciences naturelles se chargent d'exposer dans un discours les progrès de la science et ses aspirations. Peu importe qu'un pareil discours ne juge la science que d'un point de vue isolé; la discussion peut tout compléter. Mais je suis d'avis que si, à l'occasion de ces réunions solennelles de notre Société, on exposait à grands traits le développement de la science devant notre peuple, l'association des naturalistes gagnerait en unité, en puissance et en influence, et le peuple entier acquerrait de plus en plus une manière commune de comprendre et de raisonner. Sous ce rapport, messieurs, je vous recommande ma proposition.

Traduit sur le texte allemand de R. VIRCHOW par FELTZ.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE NUMÉRO 10 3 FÉVRIER 1866

Paris, 2 février 1866.

L'Académie des sciences n'a pas reçu lundi dernier un grand nombre de mémoires qui puissent intéresser nos lecteurs. Nous citerons seulement un long travail de M. Daubrée sur les météorites.

M. le vice-amiral Jurien de la Gravière a été élu membre de l'Académie, dans la section de géographie et navigation en remplacement de M. Duperrey, par 49 voix sur 57 votants. Le nombre des membres de cette section ayant été porté de 3 à 6 par un décret récent, l'Académie dispose encore de trois fauteuils.

Le défaut de place nous a empêché de mentionner lundi dernier une ingénieuse application de la photographie, dont la conférence de M. Haton de la Goupillière a été l'occasion. Il est facile, sans doute, de projeter sur un tableau, au moyen d'une lampe électrique, la figure d'une machine quelconque; mais cette figure n'est pas suffisamment instructive, car elle nous montre la machine immobile, et ce qu'il importe de voir, c'est la machine en mouvement. M. Bourbous, l'habile préparateur des cours de physique de la Faculté des sciences de Paris et des soirées scientifiques de la Sorbonne, a heureusement résolu ce problème; il est parvenu à projeter sur le tableau une figure mobile représentant le mouvement du tiroir pour la distribution de la vapeur avec détente, et les mouvements parallèles du piston dans le corps de pompe. Pour cela, il a photographié les diverses parties du mécanisme sur trois verres distincts, exactement superposés et produisant sur le tableau une figure unique. Le premier de ces verres, portant le dessin des parties fixes du mécanisme, était fixé lui-même dans un cadre; le second portait la photographie de la pièce mobile du tiroir, et le troisième, celle du piston moteur. Ces deux derniers verres, attachés chacun par une ficelle à un excentrique, glissaient l'un sur l'autre par suite des mouvements de cet excentrique. Le mécanisme manœuvrait donc absolument comme dans les machines à vapeur réelles. M. Bourbous se propose d'appliquer les mêmes procédés à d'autres machines, et la mécanique en tirera, sans aucun doute, un grand secours pour ses démonstrations. E. A.

SOIRÉE SCIENTIFIQUE DE LA SORBONNE.

CONFÉRENCE DE M. TROOST.

Un laboratoire de chimie au dix-huitième siècle. — Scheele.

Parmi les découvertes dont l'application industrielle plus ou moins récente est venue apporter à l'homme de nouvelles et précieuses ressources, il en est beaucoup qui remontent au XVIIIe siècle. C'est à cette époque que la science est résolûment entrée dans sa véritable voie.

Depuis longtemps déjà, les chimistes, renonçant aux stériles discussions de la scolastique, avaient proclamé la nécessité de subordonner les théories à l'observation rigoureuse des faits. Mais c'est surtout au siècle dernier que se manifeste, dans toute sa force, cette foi exclusive dans les résultats de l'expérience. Les quatre éléments des anciens sont définitivement mis de côté, et l'étude des diverses substances vient mettre en lumière les corps indécomposables, seuls éléments dont le chimiste puisse constater l'existence. L'influence de ces idées nouvelles se fait rapidement sentir, les découvertes se multiplient, et la science, qui jusqu'alors n'avait eu aucune donnée positive, se trouve bientôt en possession des principaux faits qui doivent lui constituer une base inébranlable.

Mais l'importance n'est pas le seul caractère qui doive fixer notre attention sur ces travaux; ce qu'ils nous offrent de plus remarquable encore, c'est la simplicité des moyens à l'aide desquels ont été obtenus les résultats les plus grands. Il ne faudrait pas croire, en effet, qu'il y eût alors beaucoup de laboratoires bien établis, et beaucoup de ces appareils perfectionnés, aujourd'hui si connus dans nos écoles, et si familiers à nos élèves. Au XVIIIe siècle, Lavoisier était à peu près le seul qui eût pour ses recherches des instruments construits par d'habiles artistes. Fermier général, et possesseur d'une grande fortune, il pouvait faire tous les sacrifices nécessaires pour assurer à ses expériences une exactitude qu'on surpasse difficilement aujourd'hui. Mais il y avait loin de ce riche laboratoire à celui des autres chimistes de son temps. La plupart de ces derniers avaient étudié la chimie dans l'officine d'un pharmacien. Lemeri, Boerhaave, Baumé, les deux Rouelle, et tant d'autres qui ont laissé

Digitized by Google

dans la science une réputation justement méritée, n'avaient pas eu d'autre moyen de s'instruire. Ils n'avaient que les ustensiles les plus simples, je dirais presque les plus grossiers, pour arriver aux plus importantes découvertes; et cependant ils y arrivaient à force de travail, de persévérance et de génie.

Entre dix exemples que nous pourrions citer, prenons le laboratoire de celui de tous qui eut l'existence la plus modeste, prenons le laboratoire de Scheele. Nous allons voir avec quelles faibles ressources opérait, livré à ses seules forces, l'observateur qui, au XVIIIe siècle, a donné la plus vive impulsion à la chimie minérale comme à la chimie organique, celui qui, avec Priestley et Lavoisier, a changé en moins de quinze ans la face de la science.

Reportons-nous à l'année 1774. Quittons Paris pour nous transporter en Suède, à Upsal. Entrons chez Looke l'apothicaire; dans son officine, nous trouverons, revêtu du tablier traditionnel, un élève pharmacien qui surveille attentivement la marche d'une opération. C'est Scheele, l'auteur des impérissables travaux que nous allons examiner ensemble.

Il n'a d'autres appareils que ceux que vous voyez ici : quelques creusets, quelques cornues, des bouteilles et des verres à bière; ajoutez-y un ou deux fourneaux, des vessies et les produits les plus communs, les plus indispensables, vous aurez tout son laboratoire. Scheele n'a, du reste, besoin d'aucun autre instrument, il sait parfaitement s'en passer; son habileté supplée à tout. Avec ces pauvres ustensiles, il saura faire les expériences les plus délicates et s'élever à des découvertes de premier ordre.

Suivons-le dans ses recherches, nous en aurons bien vite la preuve. Il s'occupe en ce moment d'une matière terreuse que tous les chimistes connaissent de vue, mais dont la nature et les propriétés n'ont pas encore été déterminées; c'est la magnésie noire, qu'on a appelée depuis l'oxyde de manganèse. Cette matière ne sert à rien, aussi est-ce un des produits que Scheele peut se procurer à bon marché. Pour étudier cette substance, il ne procède pas au hasard, il a trop peu de temps à consacrer à ses études favorites : son plan est arrêté d'avance. Il va soumettre la magnésie noire successivement à l'action des divers corps connus, mais ce sera dans un ordre parfaitement déterminé. Toutes ses expériences s'enchaînent et se complètent; chacune d'elles lui fait découvrir quelque fait intéressant. C'est que rien ne lui échappe, il observe les moindres détails d'un phénomène, et son regard pénétrant n'y laissera rien à trouver à ceux qui viendront après lui.

En chauffant, par exemple, cette magnésie noire avec de l'acide sulfurique, il obtient un sel rose; il remarque de plus que la réaction est accompagnée d'une espèce d'effervescence, de petites bulles d'un gaz incolore comme l'air viennent crever à la surface du liquide. Cette expérience avait été faite bien des fois, tous les chimistes avaient vu le sel rose, mais personne n'avait fait attention à ces petites bulles; personne n'avait soupçonné qu'il y eût là une importante découverte à faire. Scheele a tout observé, il veut savoir ce que c'est que ce gaz, il prend une vessie, l'adapte au col de sa cornue et l'y fixe à l'aide de ficelle. Bientôt la vessie se gonfle, Scheele peut étudier les propriétés du gaz qu'il a ainsi recueilli, et il se trouve que c'est un corps simple nouveau et des plus remarquables. A cette époque, le seul gaz qui fût bien connu, le seul que l'on eût distingué de l'air atmosphérique, était celui que nous appelons aujourd'hui l'acide carbonique. Or le gaz que Scheele a obtenu est bien différent de l'acide carbonique, ainsi que vous allez en juger. Voici l'acide carbonique, c'est un gaz très-lourd et qui n'entretient pas la combustion. Si je le verse sur une chandelle, elle va l'éteindre. Voici maintenant le gaz de Scheele : quand je le mettrai en présence de la flamme, il en activera la combustion. Ce gaz n'est autre chose que l'air vital, que nous appelons maintenant l'oxygène, et dont on vous a maintes fois montré les propriétés comburantes. Vous avez vu quelle vive lumière y répand le phosphore en brûlant, et quel éclat y produit la combustion du fer. L'origine de ces brillantes expériences est dans l'observation de ces petites bulles à peine visibles dont je vous parlais tout à l'heure. Scheele annonce, dans son Mémoire sur la magnésie noire, la découverte qu'il vient de faire, mais sans y insister; l'air vital est un corps trop important pour qu'on puisse le décrire incidemment; il le réserve pour une étude spéciale ultérieure. Il ne pouvait pas savoir que, presque au même moment, Priestley, en Angleterre, l'obtenait par un autre procédé, et partagerait avec lui la gloire de cette grande découverte.

Mais continuons à suivre Scheele dans les expériences auxquelles il soumet la magnésie noire. Cette terre chauffée dans un creuset avec de la potasse au contact de l'air, forme une matière qui jouit de bien singulières propriétés. Dissoute dans très-peu d'eau, elle donne une liqueur verte qui peut changer de couleur par l'addition de l'eau ou d'un acide. Cette réaction caractéristique lui a fait donner par Scheele le nom de *caméléon minéral*. Nous allons reconnaître que ce nom est bien justifié. Voici cette liqueur verte, ajoutons-y de l'eau, elle devient successivement brune, puis violacée, puis rouge. Les acides, même les plus étendus, produisent plus rapidement encore cet effet. Si maintenant je prends la liqueur violette obtenue par l'action d'un acide, je vais pouvoir, à l'aide d'un alcali, lui faire reprendre la couleur verte. Voici la liqueur violette, j'y verse de la potasse, ce liquide plus dense que l'eau tombe au fond, et le vert y reparaît immédiatement.

C'est là sans doute un corps bien curieux, mais Scheele ne s'y arrête pas longtemps. Son attention est bien autrement fixée par l'action de l'acide marin ou acide muriatique sur la magnésie noire. Elle le conduit à une découverte capitale, celle du chlore, ce gaz jaune

Digitized by Google

verdâtre qui a de nos jours de si utiles applications pour le blanchiment et la destruction des miasmes. Scheele avait versé, comme nous l'avons fait ici, de l'acide muriatique sur la magnésie noire. Au bout de quelque temps, il vit le mélange se colorer en jaune, même à froid. Quand il chauffa, il sentit une odeur très-vive et très-pénétrante. Pour se rendre compte de ce phénomène, il a encore recours à une vessie qu'il adapte vide au col de la cornue. A mesure que la liqueur s'échauffe, la vessie se gonfle. Quand le dégagement est arrêté, il détache la vessie, elle est teinte en jaune par le gaz qu'elle contient; mais de plus, elle est profondément altérée. Cette altération le force à abandonner son premier procédé; il en imagine alors un autre. A sa cornue, il fixe un tube de plomb, dont il lute soigneusement une extrémité sur le col; le tube se recourbe et va plonger dans une cuve pleine d'eau. Au-dessus de l'extrémité du tube, il place sur un trépied une fiole pleine d'eau et renversée. Le gaz se rend alors dans la fiole au fur et à mesure qu'il se dégage. Quand une fiole est pleine, il la bouche et la remplace par une autre, il a bientôt ainsi une assez grande quantité de gaz pour essayer son action sur les divers corps.

La première chose qu'il reconnaît, c'est que ce gaz affecte très-douloureusement les narines et les poumons. Je ferai tout mon possible pour que vous ne vous en aperceviez pas trop; mais pour que j'aie chance de réussir, il faut que vous me permettiez d'employer des bouchons et même d'excellents bouchons, ainsi que des tubes à robinets. Scheele ne connaissait rien de semblable; il bouchait ses flacons avec de la cire ou avec des luts faits soit avec de la farine de graine de lin, soit avec de la pâte d'amande; aussi l'air de son laboratoire n'était-il pas toujours bon à respirer. Je pense que vous ne tenez pas à ce que je pousse la ressemblance jusque-là. Pour faire toutes les expériences sans répandre la moindre odeur dans l'amphithéâtre, je placerai le corps sur lequel je veux opérer dans un ballon de verre que je fermerai ensuite avec un bouchon traversé par un tube à robinet. Ce tube porte à son autre extrémité un second bouchon capable de bien fermer un flacon à chlore. Au moment de l'expérience, je ferai le vide dans le ballon, puis je l'adapterai sur le flacon de chlore. Il me suffira alors de tourner le robinet pour que le gaz se précipite dans le ballon et réagisse sur le corps sans que la moindre odeur puisse se répandre au dehors. Nous allons pouvoir ainsi reconnaître que le chlore a une très-grande affinité pour les métaux, comme Scheele l'a constaté. Pour cela, nous avons placé de l'antimoine en poudre dans l'appareil dont je viens de vous parler, je tourne le robinet; la combustion s'effectue, comme vous le voyez, avec chaleur et lumière.

Ce qui frappe surtout Scheele, c'est l'action de son gaz sur les matières organiques. Nous avons déjà vu qu'il attaque les vessies et les colore en jaune, les bouchons sont altérés et jaunis de la même manière. Le papier bleu de tournesol soumis quelques instants à l'action du chlore devient complétement blanc. Une rose soumise à la même épreuve aura le même sort; il en sera de même de ce paquet de violettes. Toutes les fleurs peuvent être également décolorées. Les feuilles vertes, dont la texture est moins délicate, blanchissent elles-mêmes dans le chlore, quoique plus lentement, et feuilles ou fleurs ainsi décolorées ne peuvent plus reprendre leur couleur primitive.

L'explication de phénomènes aussi remarquables n'était pas facile à trouver; elle a exercé, après Scheele, la sagacité de bien des chimistes. Mais un fait en particulier lui donne profondément à réfléchir; c'est qu'en agissant ainsi sur les matières organiques, le chlore repasse toujours à l'état d'acide muriatique, facile à reconnaître aux fumées abondantes qu'il répand à l'air. Il revient plusieurs fois sur cette circonstance, il comprend instinctivement que c'est par cette tendance du chlore à reprendre quelque chose que doivent s'expliquer toutes ces réactions. Scheele ne pouvait aller plus loin. L'hydrogène n'était pas encore découvert; on ne pouvait donc pas savoir qu'il y a de l'hydrogène dans l'eau et dans toutes les matières organiques. On ne pouvait pas savoir que le chlore a pour l'hydrogène une affinité telle, qu'il s'empare de ce gaz partout où il le rencontre, et que c'est pour s'en emparer qu'il détruit tous les composés qui en contiennent. Aujourd'hui, tous ces phénomènes nous paraissent fort simples, nous pouvons expliquer par une cause unique toutes ces expériences qui, pour Scheele, étaient autant de problèmes différents, d'une insurmontable difficulté.

Du reste, si le chimiste suédois n'a pas pu expliquer les réactions du chlore, il a du moins signalé toutes les propriétés de ce gaz qui devaient plus tard donner naissance à des applications; et celles-ci, vous le savez, sont nombreuses : on emploie, en effet, le chlore non-seulement à l'état de gaz ou en dissolution dans l'eau, mais encore combiné avec la potasse ou la chaux; on a alors des corps connus sous le nom d'eau de Javel ou sous le nom de chlorure de chaux. On emploie le chlore pour détruire les miasmes dans les endroits malsains ou en temps d'épidémie. On l'utilise pour nettoyer les estampes, pour enlever les taches d'encre, ou pour décolorer les chiffons destinés à la fabrication du papier. C'est par lui que l'on blanchit actuellement les toiles et toutes les substances d'origine végétale. Cette dernière application est trop importante pour que je n'en dise pas au moins quelques mots.

Le blanchiment a pour but, vous le savez, d'enlever aux fibres du coton, du lin ou du chanvre, les matières agglutinatives qui les colorent ou qui peuvent être un obstacle à la teinture. Au siècle dernier, le seul procédé de blanchiment connu consiste à exposer les toiles sur un pré, dont l'herbe soit assez haute pour que l'air et la lumière puissent circuler librement au-dessous de l'étoffe. On l'arrose d'ailleurs de temps en temps, pour la maintenir humide. Sous l'action simultanée de la lu-

Digitized by Google

mière solaire, de l'air et de la rosée, le principe colorant se modifie peu à peu, il absorbe de l'oxygène et se transforme en une résine brune soluble dans les alcalis étendus ; de sorte que quand l'étoffe a été ainsi exposée pendant plusieurs semaines à l'air, il suffit de la tremper dans un bain de lessive alcaline pour dissoudre la résine brune formée. On l'expose ensuite une seconde fois sur le pré, afin qu'une nouvelle quantité de matière colorante puisse être transformée. Une série d'expositions sur le pré, alternant avec des lessivages convenables, détermine un excellent blanchiment. Mais ce procédé a des inconvénients de plus d'un genre : les toiles exigent plusieurs mois pour être blanchies ; on ne peut, d'ailleurs, opérer que dans la belle saison ; enfin, de vastes prairies sont, dans les pays les plus fertiles, abandonnées aux toiles qu'il faut y tenir étendues pendant tout l'été. L'agriculture perd donc ainsi un grand nombre de terres et des meilleures.

Si ces inconvénients étaient grands au siècle dernier, que serait-ce donc de nos jours, où la valeur du sol a plus que décuplé ? A quel prix nous reviendraient les étoffes blanches, même les plus grossières? Heureusement nous avons le gaz de Scheele, et il était réservé à un chimiste français, Berthollet, d'en faire la plus belle application. Le chlore réalise en quelques heures ce qu'on n'obtenait qu'après des mois entiers. Il produit en quelques instants et en toute saison, ce que l'air et la lumière ne faisaient que très-lentement et pendant les chaleurs de l'été. C'est que, par suite de son affinité pour l'hydrogène, le chlore décompose l'eau et met en liberté du gaz oxygène qui, au moment où il prend naissance, agit avec une merveilleuse rapidité, et change, pour ainsi dire, instantanément en résine brune, soluble dans les alcalis, cette matière colorante insoluble. Mais le chlore à lui seul ne suffit pas plus que la seule exposition sur le pré. Il faut faire alterner son action avec celle des lessives alcalines. Quand on veut blanchir par l'action unique du chlore, on est forcé d'avoir recours à des dissolutions concentrées qui attaquent les fibres et brûlent les tissus, comme cela est arrivé souvent et comme cela arrive quelquefois encore. Si, au contraire, on fait agir alternativement le chlore et les lessives alcalines en dissolutions étendues, on obtient au bout de quelques heures, et à très-bas prix, des blancs aussi beaux et aussi solides que par l'ancien procédé si long et si coûteux. Les étoffes blanchies par la nouvelle méthode sont même moins usées que par l'exposition sur le pré, et ce fut, dans les premiers temps, un assez grave inconvénient, car les toiles moins usées paraissaient moins fines que les pièces de même qualité blanchies sur le pré : pour les faire accepter aux mêmes conditions, il fallut les user. On y réussit en les trempant dans une dissolution concentrée de potasse, cela s'appela *affiner* les toiles. Plus tard, quand toutes les usines employèrent la nouvelle méthode, il n'y eut plus de raison pour continuer l'*affinage;* mais le commerce s'en était bien trouvé, il continua, et de nos jours encore un grand nombre de fines batistes sont obtenues en usant ou *affinant* des toiles assez ordinaires. Aujourd'hui on blanchit en toute saison, en très-peu de temps et dans un atelier de peu d'étendue. Les vastes prairies, autrefois occupées par les toiles sont restituées à l'agriculture qui en tire bon parti.

La découverte du chlore et son application au blanchiment constituent un des plus grands progrès réalisés par la science au profit de l'industrie. Aussi devons-nous inscrire parmi les noms des hommes qui ont le contribué au bien-être de l'humanité, ceux de Scheele et de Berthollet.

La découverte du chlore qui, à elle seule, eût suffi pour immortaliser son auteur, aurait pu rester longtemps inconnue, sans l'amitié et le dévouement de Bergman, professeur de chimie à l'Université d'Upsal. Le célèbre professeur était connu du monde entier par l'éclat de son enseignement et par l'importance de ses travaux, tant en mathématiques qu'en chimie, et en histoire naturelle. Il était en correspondance avec tous les savants de l'Europe. Dès que Scheele lui eut fait connaître les propriétés du chlore, il s'empressa de révéler aux chimistes l'existence du modeste pharmacien, et l'admirable travail qu'il venait d'accomplir.

L'amitié de Scheele et de Bergman était alors de fraîche date : s'il faut en croire la tradition elle était due au hasard. Scheele était probablement venu à Upsal pour faire la connaissance de Bergman, et lui soumettre ses recherches, mais il était beaucoup trop timide pour se présenter à lui. Peut-être, d'ailleurs, craignait-il cette entrevue au moins autant qu'il la désirait. Il redoutait le coup d'œil du maître qui, d'un seul regard, pouvait anéantir ses plus chères espérances et lui prouver qu'il avait trop préjugé de ses forces. Aussi quoiqu'il fût venu chercher ce jugement de Bergman, il l'eût peut-être encore longtemps évité si une heureuse circonstance n'avait mis un terme à ses hésitations. Un jour, le professeur ayant eu besoin de salpêtre, en fait prendre chez l'apothicaire ; puis, dans une expérience où il en chauffe avec un acide, comme je le fais ici, il voit apparaître d'abondantes vapeurs rouges, c'est encore ce que nous voyons ici. La production de ces vapeurs est naturelle dans ces circonstances, mais Bergman, préoccupé d'une autre idée, s'attendait à une réaction différente ; étonné, il s'en prend à quelque impureté du salpêtre, et le renvoie par un de ses élèves. Celui-ci ne manque pas une aussi belle occasion de rudoyer un peu le pauvre garçon apothicaire. Mais le garçon apothicaire ne s'émeut pas ; il s'informe des reproches que l'on fait au salpêtre, se fait indiquer les détails de l'expérience, et prouve immédiatement à l'élève ébahi que, dans ces conditions, le nitre le plus pur doit donner les vapeurs rouges observées.

Quand cette explication est rapportée à Bergman, il

Digitized by Google

accourt à la pharmacie, demande Scheele, l'interroge, et, sous l'humble tablier de l'élève-pharmacien, reconnaît, à sa grande surprise, un très-habile chimiste, un chimiste qui a déjà fait d'importantes découvertes, et qui en médite de plus importantes encore. A dater de cet instant, des relations suivies s'établirent entre eux, et leur amitié ne s'est jamais démentie. Chaque fois que Scheele annonce une découverte à Bergman, celui-ci est heureux de s'en faire l'écho, il s'empresse de la faire connaître dans tous les pays. Son zèle ne se borne pas à publier les travaux de son ami, il cherche toutes les occasions de lui être utile; il voudrait surtout lui procurer une place convenable, une place qui, assurant son avenir, lui permît de consacrer plus de temps à ses expériences. A force de démarches, il obtient pour Scheele la direction d'une manufacture de l'État, et vient tout heureux l'annoncer à son protégé. Mais Scheele refuse; tout fier qu'il est des éloges et de l'amitié de Bergman, il n'en est pas plus ambitieux. La direction d'une manufacture ne le tente pas; il redoute toute nouvelle occupation, toute distraction : il ne recherche que la tranquillité, je dirais presque l'isolement. C'est que Scheele n'a guère eu à se louer de ses rapports avec le monde. Jusqu'au moment où il fit la connaissance de Bergman, il avait presque toujours été contrarié dans ses espérances les plus légitimes. C'est ce dont nous pouvons nous convaincre, en jetant un coup d'œil rétrospectif sur sa vie.

Il était né en 1742, à Stralsund, ville de la Poméranie alors suédoise, aujourd'hui prussienne. Ses parents, commerçants peu aisés, chargés de onze enfants, l'avaient cependant envoyé au gymnase pour y faire ses classes. Scheele montra peu de dispositions : l'étude des langues n'était pas son affaire, il n'a jamais bien connu que l'allemand, sa langue maternelle; et, quoiqu'il ait toujours vécu en Suède, il a continué à écrire ses mémoires en allemand, de sorte qu'il fallait ensuite les traduire pour les présenter à l'Académie de Stockolm. Dès le début, ses maîtres le regardèrent comme n'étant capable de rien; sa famille s'estima fort heureuse de pouvoir le placer comme apprenti dans une pharmacie. Aussi le voyons-nous entrer, à l'âge de treize ans, chez Bauch, ami de sa famille et apothicaire à Gottenbourg. Il y reste pendant six ans comme apprenti, puis pendant deux autres années comme élève. Il montre beaucoup d'exactitude, de zèle et même d'intelligence dans son service, mais rien ne fait encore prévoir ce qu'il doit être un jour. Il lit tous les traités de chimie qui lui tombent entre les mains. Il remarque surtout celui de Neumann, l'un des élèves et des plus grands admirateurs de Stahl; il le lit, le commente, et cette lecture lui révèle sa véritable vocation, elle lui donne un amour passionné pour la chimie.

Il se met immédiatement à répéter toutes les expériences dont il a lu la description. Mais bientôt une vive contrariété vient le troubler dans les premiers essais dont il s'occupe. N'ayant pas un instant dans la journée, il prenait sur son sommeil, à l'insu de son patron, le temps nécessaire à ses recherches. Or, un jour, un de ses camarades s'avise de mêler à ses produits une poudre détonante, de sorte qu'au moment où il revient à ses appareils, au milieu de la nuit, Scheele détermine une violente explosion qui vient dévoiler ses travaux nocturnes, et mettre toute la maison en émoi. A partir de cette époque, on devient plus sévère, il lui est plus difficile de se livrer à ses occupations favorites, il n'y renonce cependant pas, il s'entoure seulement de plus de précautions.

Quand il a vingt et un ans, en 1763, il quitte Gottenbourg et parcourt la Suède comme élève, profitant de toutes les occasions de s'instruire. Il reste pendant quelque temps à Malmoë en Scanie; puis, à vingt-sept ans, il arrive à Stockolm, où il entre chez l'apothicaire Scharemberg.

C'est là qu'il fait sa première découverte : le dépôt que laissent les vins au fond des tonneaux, ce qu'on appelle le tartre, avait depuis longtemps déjà excité l'attention des chimistes; on savait qu'il contient de la potasse, car lorsqu'on le calcine il laisse cet alcali comme résidu; mais ce qu'on n'avait pas encore réussi à savoir, c'est avec quel acide la potasse s'y trouve combinée. Scheele, et c'est là son premier travail, isole l'acide que nous appelons, à cause de son origine, l'acide tartrique, et que l'industrie emploie, soit comme mordant en teinture, soit pour la fabrication des limonades ou de l'eau de Seltz. La découverte de ce corps par Scheele n'est pas due au hasard, il ne l'obtient pas par un procédé spécial à cette matière; la méthode qu'il emploie indique déjà une profonde connaissance de la chimie; c'est une méthode générale, qui doit plus tard, comme nous le verrons dans un instant, lui faire découvrir plusieurs autres acides; elle est si bien conçue et si complète, qu'aujourd'hui encore nous nous servons de la méthode de Scheele pour extraire non-seulement l'acide tartrique, mais encore la plupart des acides végétaux.

Il semble qu'un pareil travail, fait par un simple élève en pharmacie, aurait dû attirer sur lui l'attention des savants. Ce début pouvait faire présager un chimiste de grand avenir. Mais, par une espèce de fatalité, ses premières recherches ne sont pas appréciées à leur juste valeur. Son mémoire sur l'acide tartrique adressé à l'un des membres de l'Académie de Stockolm, lui est renvoyé au bout de plusieurs mois sans même avoir été lu. Scheele, découragé, remet son manuscrit à un professeur de Lund, Retzius, qui le fait enfin insérer dans les transactions de Stockolm. Mais ce devait être pour Scheele une nouvelle cause de déception; le mémoire est imprimé, mais il est imprimé sans nom d'auteur, de sorte que plusieurs chimistes ont attribué à Retzius la découverte faite par Scheele.

L'année suivante, Scheele découvre l'acide fluorhydrique, acide qui attaque le verre, et s'empare d'un de ses

Digitized by Google

éléments pour former un gaz qui se pétrifie au contact de l'eau. Voici le résultat de l'expérience : le verre de la cornue a été attaqué comme vous le voyez, et le produit gazeux, en arrivant au contact de l'eau, y a abandonné ces flocons qui nagent ici; c'est de la silice, c'est la matière qui constitue le cristal de roche. De nos jours, cet acide est utilisé dans l'industrie pour produire sur verre des gravures de la plus grande finesse. Vous allez en juger vous-même par les détails de celle que l'on va projeter sur le tableau.

Ce second travail n'est guère plus apprécié que le premier; c'est alors que Scheele, mécontent, quitte Stockolm et se rend à Upsal, où nous venons de le voir découvrir l'oxygène et le chlore, et montrer de plus que la magnésie noire est la chaux (l'oxyde) d'un métal nouveau que l'on a appelé plus tard le manganèse. Pour être exact, je dois ajouter qu'il trouve encore dans la magnésie noire une autre substance également nouvelle alors, et qui s'y trouve souvent mélangée, c'est la baryte. Voilà donc quatre corps nouveaux, le chlore, l'oxygène, le manganèse et la baryte signalés par Scheele dans un seul travail; quatre corps utiles tirés d'une matière sans valeur, et à l'aide des grossiers ustensiles que vous avez ici sous les yeux.

Nous allons, du reste, voir bien d'autres découvertes importantes sortir de ce modeste laboratoire. Toutes, il est vrai, ne donneront pas naissance à des applications aussi avantageuses que le chlore, l'acide tartrique ou l'acide fluorhydrique. En effet, si l'on doit s'applaudir de voir l'usage du chlore prendre de jour en jour de nouveaux développements, on ne peut en dire autant de l'application qu'on faisait, il y a quelques années, d'une matière colorante découverte également par Scheele. C'est une très-belle matière, comme vous voyez. On la connaît dans le commerce sous le nom de vert de Scheele. Pour l'obtenir, il prenait une dissolution de vitriol bleu, la portait à une température voisine de l'ébullition, puis la versait peu à peu dans une dissolution d'arsenic blanc dans la potasse. C'est ce que je réalise ici devant vous : il se précipite, vous le voyez, une poudre verte; pour la recueillir, je verse le tout sur cette toile. Le liquide va s'écouler et la poudre restera. Lorsqu'elle sera sèche, elle prendra une teinte aussi agréable que celle qui est contenue dans ce flacon.

L'industrie devait nécessairement chercher à s'emparer d'une substance aussi belle, qui d'ailleurs avait l'avantage de pouvoir s'appliquer simplement à l'eau. Aussi, il y a quelques années, on préparait de grandes quantités de cette matière pour les fabricants de papiers peints. On s'en servait également pour colorer les étoffes légères, telles que tulles, gazes, lustrines, etc. La vogue de cette couleur fut très-grande, mais elle fut de courte durée. C'est que cette matière si belle a l'inconvénient de contenir de l'acide arsénieux et de l'oxyde de cuivre, c'est-à-dire deux substances qui agissent sur l'économie comme de violents poisons. La facile application de cette couleur à l'eau est encore un danger de plus, car la couleur ainsi appliquée adhère très-peu. Le moindre frottement en détache des parcelles qui, flottant dans l'air, peuvent occasionner l'empoisonnement des personnes qui les respirent. L'habitation d'appartements tapissés avec des papiers verts, surtout lorsqu'ils étaient veloutés, a eu fréquemment des suites funestes. L'emploi de ces papiers, par les confiseurs et autres marchands de comestibles, a également causé des accidents si fréquents, que l'on a dû en interdire l'usage pour envelopper les substances alimentaires.

Le vert de Scheele est si dangereux que le simple contact de la peau avec des tissus colorés par cette matière suffit pour déterminer des éruptions aux mains, aux bras et au visage. Les accidents se sont en très-peu de temps tellement multipliés, que l'administration, sollicitée de toutes parts, a dû intervenir et défendre la vente de ces étoffes dans toute la France. Mais, par un scrupule que vous trouverez peut-être un peu exagéré, en même temps qu'elle en défendait la vente en France, elle en autorisait la fabrication pour l'exportation. Le poison qu'on ne pouvait vendre chez nous était libéramment distribué à l'étranger. Heureusement cette singulière exception ne put être longtemps maintenue, car les ouvrières qui étaient occupées à plier ces étoffes en éprouvèrent de si cruelles et si affreuses maladies, que, pour les protéger, on fut obligé d'en arriver à une interdiction absolue, ce par quoi on aurait pu commencer.

Mais revenons à notre laboratoire. — Scheele ne reste en tout que quatre ans à Upsal, et dans ce court espace de temps, il fait encore d'importantes recherches sur l'acide arsénique, sur l'acide urique et sur l'acide benzoïque. Il publie enfin un traité de l'air et du feu,

FIG. 49. — Appareil distillatoire pour la préparation de l'acide benzoïque (d'après la *Chimie* de M. Malagati).

qui, malgré ses imperfections théoriques, a le plus grand mérite, aux yeux des physiciens et des chimistes, par la multitude des expériences intéressantes qu'il contient, par la simplicité des appareils employés et la précision des résultats obtenus. Il y démontre l'existence dans l'air de deux gaz différents, l'azote et l'oxygène; il y indique plusieurs modes de préparation de ce dernier gaz, et son rôle dans les combustions et

dans la respiration des animaux qui vivent, soit à la surface de la terre, soit dans les profondeurs de l'Océan. Cet ouvrage, précédé d'une préface de Bergman, eut en Europe un très-grand retentissement; il fut traduit dans toutes les langues.

La réputation de Scheele à l'étranger était alors à son comble, le roi de Prusse chercha à l'attirer à Berlin, il lui fit faire les offres les plus brillantes; mais Scheele ne sait pas ce que c'est que l'ambition. Retraite calme et médiocrité, voilà l'avenir qu'il rêve et qu'il préfère à toutes les grandeurs. Il apprend que dans une toute petite ville, à Kœping, une pharmacie est demeurée vacante par la mort du propriétaire, qu'il y trouverait un emploi paisible, et par suite plus de temps pour travailler. Scheele n'hésite pas, il part immédiatement pour Kœping, accepte toutes les conditions et s'installe dans la pharmacie. Mais de nouvelles contrariétés l'attendaient; on lui avait dit que les affaires de la pharmacie étaient en bon état, que la veuve de l'apothicaire avait quelque bien, on avait même ajouté qu'il pourrait aspirer à l'épouser, et avoir ainsi une modeste aisance. Or, il se trouve que, tout examiné, la succession est obérée de dettes; au lieu d'un sort paisible, au lieu d'une existence douce et facile, c'est une vie pénible et de labeurs incessants qui se présente. Scheele ne recule pas. Il avait accepté l'offre d'une vie facile, il sera heureux de donner ce qu'on lui avait offert; il se met à l'œuvre, et, partageant son temps entre ses recherches favorites et les soins de sa pharmacie, il emploie tous les bénéfices de la maison à en payer les dettes. Dans les meilleures années, il pourra réserver 600 francs: 100 francs seront consacrés à ses besoins personnels, et 500 francs à son laboratoire. C'est au milieu des travaux arides et des occupations obligatoires de son officine, que Scheele continue la série de ses découvertes.

Le premier mémoire qu'il publie à Kœping fait suite à son traité de l'air et du feu. Il avait démontré précédemment l'existence dans l'air de deux principes différents: l'air vital ou oxygène, et l'air qui n'entretient pas la vie: l'azote. Il s'agissait maintenant de trouver la proportion de ces deux fluides dans un volume déterminé d'air. Voici l'un des procédés qu'il imagine: au fond d'une cuvette, il place un support formé d'une tige de verre fixée à un pied de plomb. Sur ce support, il met une petite soucoupe remplie de deux parties de limaille de fer pour une partie de soufre en poudre. Il humecte d'eau le mélange, le recouvre d'une cloche, et note exactement le volume du gaz sur lequel il opère. L'oxygène de l'air est peu à peu absorbé, et quand le volume du gaz cesse de diminuer, on trouve qu'il est réduit à peu près aux trois quarts. L'air était donc formé de 1 volume d'oxygène pour 3 volumes d'azote. Bien que les recherches ultérieures aient modifié ces nombres, ce n'en était pas moins un résultat remarquable pour l'époque où il a été obtenu. La même année, Lavoisier, en France, arrivait par une méthode toute autre à une conclusion peu différente, et ces deux grands hommes ont un égal droit à la gloire d'avoir établi la constitution de l'atmosphère qui nous entoure.

Des recherches non moins importantes sont celles qui ont conduit Scheele à découvrir dans le bleu de Prusse l'acide prussique, cet acide, dont une goutte suffit pour tuer instantanément l'animal le plus robuste. Ce travail est un chef-d'œuvre qui se fait remarquer non-seulement comme toujours, par la simplicité des moyens employés; mais encore par l'enchaînement des expériences et la justesse des conclusions.

Après avoir isolé cet acide, Scheele l'étudie et le caractérise par son odeur d'amandes amères, par sa saveur brûlante et sa propriété d'exciter la toux. Il indique ses principales propriétés chimiques ainsi que les combinaisons qu'il forme avec les métaux.

L'acide prussique que Scheele a ainsi extrait du bleu de Prusse existe, bien qu'en très-petite quantité, dans les organes de plusieurs végétaux, et entre autres dans les feuilles du laurier-cerise, dans les feuilles et les fleurs du pêcher; il existe aussi dans les amandes amères du pêcher, de l'abricotier et du cerisier. L'odeur que vous leur connaissez est précisément celle de l'acide prussique.

Ce corps agit sur tous les animaux avec une extrême rapidité. C'est de tous les poisons le plus terrible et celui dont les effets sont les plus prompts. Si nous approchions un oiseau d'un flacon débouché contenant cet acide, il tomberait mort immédiatement, l'odeur seule aurait suffi pour le tuer. — Une seule goutte déposée sur la langue ou dans l'œil du chien le plus vigoureux le tue à l'instant comme s'il était frappé par la foudre.

Les propriétés vénéneuses de l'acide prussique paraissent avoir été connues des prêtres égyptiens. C'est en distillant avec de l'eau les fleurs et les amandes du pêcher, qu'ils obtenaient le poison avec lequel ils donnaient la mort aux initiés qui avaient trahi les mystères de l'art sacré. — Cette puissante action délétère de l'acide prussique rend moins incroyable l'activité prodigieuse des breuvages préparés par Locuste à Rome, par Toffana à Naples et par la Brinvilliers sous le règne de Louis XIV.

Le mémoire de Scheele sur l'acide prussique est de 1782. Deux ans plus tard, il cherche à extraire du citron le principe qui lui donne sa saveur acide, et c'est pour lui une nouvelle occasion d'appliquer la méthode qui lui a permis d'isoler l'acide tartrique. Pour faire cristalliser le jus de citron, il le soumet d'abord à une simple évaporation, c'était ce qu'il y avait de plus naturel; mais ce procédé ne lui fournit qu'une masse gommeuse: l'acide ne cristallise pas. Scheele pressent que son insuccès doit tenir à la présence de la matière visqueuse qui se trouve mêlée à l'acide dans le jus de citron. Il essaye de s'en débarrasser en ajoutant de l'esprit-de-vin au jus concentré; mais l'esprit-de-vin ne coagule qu'une partie de la matière visqueuse, le liquide ne cristallise pas encore. Scheele ne se décourage pas, il revient alors

Digitized by Google

au procédé qui, dans son premier travail, lui a servi à isoler l'acide tartrique, et le succès couronne ses efforts. Dans le jus de citron, il verse peu à peu de la craie pulvérisée : une vive effervescence se manifeste, l'acide crayeux se dégage et la chaux forme, avec l'acide du citron, un sel très-peu soluble. Quand ce sel s'est déposé, Scheele le lave et peut ainsi le débarrasser de toutes les matières étrangères qui étaient mêlées à l'acide. Puis, sur le sel ainsi purifié, il verse de l'acide sulfurique qui remet en liberté l'acide du citron. L'acide pur donne alors de très-beaux cristaux analogues à ceux du sucre candi.

L'acide citrique une fois isolé, Scheele se demande si c'est ce même corps qui donne leur saveur acide aux groseilles, à l'épine-vinette, etc. Il est ainsi conduit, toujours en employant la même méthode générale, convenablement modifiée suivant les circonstances, à découvrir dans plusieurs fruits un autre acide, l'acide malique, qu'on trouve très-abondant dans les pommes, les prunes et les baies de sureau. De l'oseille, il retire un autre acide qu'on a appelé l'acide oxalique. L'étude de la noix de galles et celle du lait lui fournit encore de nouveaux acides.

Bien d'autres recherches, que je puis à peine indiquer d'un mot, l'occupent simultanément. La nature de la plombagine, qui sert à faire nos crayons, était inconnue; Scheele montre que c'est du charbon à peine souillé de quelques impuretés, un peu d'oxyde de fer, par exemple; la plombagine est du charbon presque aussi pur que le diamant. On confondait avec cette plombagine un minerai qui lui ressemble par sa couleur, tout en différant par sa structure; Scheele y découvre un nouvel acide : l'acide molybdique, dont l'existence entraînait celle d'un corps simple nouveau, le molybdène. Quelques mois plus tard, il isole un autre acide présentant d'assez grandes analogies avec le précédent, c'est l'acide tungstique, qui correspond lui-même à un nouveau corps simple, le tungstène. Scheele ne touche pas un corps sans en faire jaillir une découverte.

Mais je m'arrête. Si nous voulions le suivre dans tous ses travaux, il nous faudrait parcourir avec lui toutes les parties de la chimie. Partout c'est la même sûreté de main, la même pénétration d'esprit. Pas une erreur dans tout ce qu'il dit des propriétés des corps qu'il a maniés ou des réactions qu'il a produites. Ses mémoires sont d'une netteté et d'une précision dont il n'avait trouvé de modèle nulle part. On a pu depuis en imiter la rigueur, mais on ne l'a jamais surpassée.

Et cependant, Scheele n'a que bien peu de temps à consacrer à ses études de prédilection. Il se doit à son officine, c'est elle qui le fait vivre. Aussi ne la néglige-t-il pas un seul instant. A côté de l'appareil où il surveille une réaction intéressante, il y en a un autre qu'il conduit en même temps et où il suit avec attention une opération pharmaceutique. Il donne le même soin à la potion qu'il prépare pour un malade et à la découverte qui doit l'immortaliser. Ses travaux de chimie pure ne l'empêchent pas de perfectionner la préparation du calomel, celle de la magnésie blanche et celle de la céruse. Ils ne l'empêchent pas de publier des notes intéressantes sur la poudre d'algaroth et sur la rhubarbe. Ils ne l'empêchent pas de trouver, pour conserver les qualités du vinaigre, un moyen infaillible dont la science a mis près d'un siècle à découvrir l'explication complète. Le vinaigre se recouvre souvent, vous le savez, d'une pellicule épaisse qui détermine son altération rapide. Pour éviter cette altération, Scheele conseille de faire bouillir le vinaigre pendant quelques instants, et de le conserver ensuite dans des bouteilles bien bouchées. Ce procédé que le chimiste suédois imagine, c'est le procédé de conservation des substances alimentaires par la cuisson, c'est le procédé qu'Appert et bien d'autres réinventeront plus tard. Scheele nous montre qu'à 100 degrés le principe qui déterminait l'altération du vinaigre ne peut plus exister, et cela suffit au but qu'il se proposait. Aujourd'hui nous savons, et nous l'avons appris ici même dans une remarquable leçon, que l'altération du vinaigre, comme celle de toutes les substances organiques, est due au développement de germes qui proviennent de l'air. Nous savons que si ces substances chauffées à 100 degrés ne sont pas altérées, c'est qu'à cette température les germes ont été tués; mais, pour obtenir ces résultats, il ne fallait rien moins que les admirables travaux de M. Pasteur.

L'habileté du chimiste n'est pas inutile à l'apothicaire, elle lui procure économie de temps et d'argent. Le chimiste y trouve du reste son compte : la moindre préparation pharmaceutique lui fournit matière à d'utiles observations. Ainsi, c'est en préparant ce que les apothicaires appellent l'emplâtre simple, qu'il est conduit à la découverte de la glycérine, ce principe doux des huiles, qui devait plus tard recevoir de si importantes applications. Obligé, dans cette préparation, de chauffer de l'huile avec de l'oxyde de plomb, Scheele cherche à se rendre compte de l'action du corps gras sur l'oxyde métallique, et il reconnaît que l'huile est formée de deux principes distincts. Pendant que l'un d'eux, jouant le rôle d'acide, s'unit à l'oxyde de plomb, l'autre principe, qu'il appelle, à cause de sa saveur sucrée, le principe doux des huiles, est mis en liberté et se dissout dans l'eau. Scheele étudie ce liquide si curieux, qui réunit pour ainsi dire les qualités opposées de l'eau et de l'huile, qui mouille les corps, les lubrifie et les assouplit sans les graisser; ce corps qui est de la graisse et qui ne tache pas.

Entraîné par d'autres occupations, il n'a pas généralisé sa découverte, il n'a pas cherché si ce principe existait également dans les autres huiles et dans les graisses. Il était réservé à l'un des maîtres de la chimie moderne de nous faire comprendre toute l'importance de la découverte de Scheele. C'est à M. Chevreul

Digitized by Google

que revient l'honneur d'avoir montré que la plupart des huiles végétales et des graisses animales ont la même constitution que l'huile d'olive. Que ce soit de l'huile de lin, de la graisse de mouton, de bœuf ou de porc que l'on chauffe avec un alcali, le principe acide de la matière grasse s'unira toujours à l'alcali pour donner le composé qui constitue notre savon de toilette ou de ménage, tandis que la glycérine, toujours identique avec elle-même, sera mise en liberté. C'est encore M. Chevreul qui nous a montré qu'en traitant ensuite le savon par un acide, qui s'empare de la potasse ou de la soude, on obtient l'acide gras qui diffère de l'huile ou de la graisse en ce qu'il ne contient pas de glycérine. Cet acide gras dépouillé de glycérine, c'est l'acide stéarique ou l'acide margarique, c'est la matière avec laquelle on fait nos bougies. La bougie diffère donc de la chandelle en ce qu'elle ne contient pas la glycérine qui existe dans cette dernière. Avec de la chandelle, on peut faire de la bougie et de la glycérine.

Si le principe des graisses a reçu une importante application dans la fabrication des bougies, le principe doux, la glycérine, ne devait pas être moins appréciée : aujourd'hui la pharmacie et la médecine utilisent la propriété qu'elle a de dissoudre un grand nombre de substances thérapeutiques. La parfumerie l'emploie pour assouplir la peau : c'est le meilleur des cosmétiques. L'industrie elle-même utilise ses propriétés hygrométriques dans le tissage des étoffes et dans l'impression des couleurs. Les applications de la glycérine se multiplient de plus en plus et promettent un développement pour ainsi dire indéfini à cette belle découverte de Scheele.

La pharmacie n'est donc pas moins redevable que la chimie aux recherches de l'illustre Suédois. Il s'occupe de tout avec le même succès. Le travail est du reste son seul plaisir, tous ceux qui l'approchent le trouvent à ses fourneaux. Vers 1782, un Français, le président de Virly, et d'Elluyart, chimiste espagnol, entreprennent un voyage en Suède pour faire la connaissance de Scheele et de Bergman. Ils se rendent d'abord à Upsal, puis au bout de quelques jours, munis d'une lettre de Bergman, ils arrivent à Kœping dans la pharmacie de Scheele ; ils le trouvent dans son officine, occupé de recherches sur la préparation et les propriétés des éthers. Scheele les accueille avec empressement, mais sans discontinuer son travail et sans juger à propos de s'en excuser. Il cause avec eux des progrès récents de la science, il leur parle de ses propres recherches, mais il insiste surtout sur les découvertes de Bergman; c'est l'honneur de la Suède, leur dit-il, sans paraître soupçonner qu'on en pût dire autant de lui. Pendant les quelques jours qu'ils passèrent à Kœping, il alla dîner avec eux, mais le dîner fini, il revenait à son officine et les voyageurs l'y suivaient, d'autant plus heureux d'assister à ses recherches que Scheele leur en expliquait tous les détails sans la moindre hésitation, sans rien leur cacher. Il leur indiquait le but qu'il poursuivait et les moyens qu'il comptait employer pour y arriver.

Scheele, dont la réputation, grâce à Bergman, était immense à l'étranger, Scheele, que l'on venait ainsi visiter du fond de l'Espagne, était à peu près inconnu dans sa patrie. Aussi est-ce à l'étranger que le roi de Suède, Gustave III, entendit parler de lui pour la première fois. C'était en 1780, Scheele avait déjà publié la plupart de ses beaux travaux. Le roi voyageait en Italie; un jour, il assista, à Turin, à une séance académique, dans laquelle Schele fut élu comme associé étranger. On parla avec enthousiasme des importantes découvertes du chimiste suédois; on cita ses plus remarquables mémoires, et surtout son traité de l'air et du feu. Le roi fut fort étonné de n'avoir jamais entendu prononcer en Suède le nom d'un chimiste qui faisait ainsi l'admiration du monde savant; il crut qu'il importait à sa gloire de donner un témoignage éclatant d'estime à l'homme qui illustrait ainsi son pays. Il écrivit à son premier ministre qu'il entendait que Scheele reçût immédiatement des lettres de noblesse, qu'il fût nommé chevalier. Mais si le roi connaissait peu Scheele, son ministre en avait encore moins entendu parler; aussi demeura-t-il stupéfait. « Scheele ! c'est singulier, dit-il, je ne connais personne de ce nom ». Cependant l'ordre du roi était positif, il était pressant. Il fallut l'exécuter : le diplôme fût dressé et expédié, la noblesse compta un chevalier de plus. Mais, vous le devinez, ce ne fut pas Scheele, l'illustre chimiste, ce ne fut pas Scheele, l'honneur de la Suède, ce fut un autre Scheele qui se vit, à son grand étonnement, l'objet de cette faveur inattendue.

Enfin, en 1786, toutes les dettes de son prédécesseur sont payées, ses découvertes font l'admiration des savants de tous les pays. Il va pouvoir, enfin, jouir du fruit de ses travaux; il s'établit d'une manière définitive en épousant la pauvre veuve qui l'avait accueilli. Elle l'avait secondé dans ses travaux, il veut qu'elle partage son nom et sa gloire. Mais Scheele ne devait pas connaître le repos. Le jour même de son mariage il est pris d'une fièvre aiguë, et quatre jours après il avait succombé, à l'âge de quarante-quatre ans.

Le bruit de sa perte se répandit en Suède en même temps que celui de sa renommée. Savant modeste, dédaignant tout éclat, il avait eu le courage de vivre obscur. Il n'est personne dont on puisse dire avec plus de vérité : *Il aimait la science pour la science.*

On s'est souvent étonné de ce que Scheele, qui a fait faire de si grands progrès à la chimie, et qui a eu une si grande influence sur les méthodes expérimentales, n'ait pas secoué le joug des idées reçues à son époque, et n'ait pas commencé cette grande réforme, qui reste la gloire immortelle de Lavoisier. C'est que Scheele n'avait ni l'éducation première, ni la fortune qui donnent une indépendance complète d'esprit et de caractère. Obligé d'émietter, pour ainsi dire, son génie aux labeurs inces-

Digitized by Google

sants qui amènent le pain de chaque jour, il ne pouvait consacrer aux méditations théoriques les longs loisirs qu'elles exigent. Sa part, du reste, est assez belle, même à côté de Lavoisier. En effet, que d'inventions, que de découvertes ultérieures ont été les conséquences des travaux accomplis par Scheele dans son modeste laboratoire. Je vous ai montré qu'on y avait trouvé le principe de la gravure sur verre, celui de la conservation des substances alimentaires, celui enfin de la fabrication des savons, des bougies, de la glycérine. Mais j'aurais pu vous en citer encore bien d'autres exemples : quand je vous ai parlé du blanchiment, j'aurais pu vous montrer que cette application du chlore, en utilisant l'acide muriatique, avait eu une autre conséquence au moins aussi importante, elle a complété la découvertde e Leblanc, elle a permis d'obtenir avec économie la soude et, par suite, tous les produits qui en dérivent.

Le nombre des mémoires de Scheele est tel qu'on se demande avec étonnement comment un seul homme a pu, dans l'espace d'un si petit nombre d'années et avec d'aussi modestes ressources, accomplir d'aussi grandes choses. Il n'est peut-être pas un chimiste qui ait découvert autant de corps, il n'en est certainement pas un qui l'ait fait par des moyens aussi simples. C'est que Scheele avait le génie de l'invention joint à un admirable talent d'expérimentation. Il était de ces vrais savants dont Franklin a dit : *Ils sont capables de scier avec une vrille et de percer avec une scie.*

TROOST.

ENSEIGNEMENT LIBRE.

PHYSIOLOGIE MÉDICALE

COURS DE M. MAREY (1).

Du mouvement dans les fonctions de la vie.

I.

EXPOSITION DU SUJET ET DE LA MÉTHODE

Messieurs,

Dans les sciences physiques, on a coutume d'étudier les corps sous deux états différents : le repos et le mouvement, l'état statique et l'état dynamique. Deux sciences parallèles ont été fondées en conséquence de cette distinction : l'une la *statique*, considère les corps à l'état de repos, apprécie leur forme géométrique, leurs conditions d'équilibre, etc.; l'autre, la *dynamique*, étudie les mêmes corps en mouvement, et cherche les lois qui président à tous les changements d'état que peut présenter la matière. Inséparables mais distinctes, ces deux sciences sont sœurs; le physicien passe sans cesse de l'une à l'autre, et c'est par leur double concours qu'il obtient la solution des problèmes mécaniques ou physiques, dont les applications constituent tous les progrès de l'industrie. Dans notre science médicale nous trouvons les mêmes divisions du sujet, les mêmes distinctions dans l'étude. L'*anatomie* en effet correspond à la statique animale; elle nous enseigne la forme et les rapports des différents organes, la constitution intime de leurs tissus; c'est-à-dire leur histologie, tandis que la *physiologie*, véritable dynamique animale, nous montre les organes en fonction, nous pourrions dire en mouvement. Qu'est-ce en effet que le *mouvement fonctionnel*, sinon l'ensemble presque complet des phénomènes de la vie?

Plus la science progresse, plus elle nous révèle de nombreux mouvements dans l'organisme. La marche et l'acte musculaire, voilà le mouvement dans sa manifestation la plus simple; mais à côté de cette grande fonction essentiellement dynamique, on peut voir que toutes les autres empruntent au mouvement leur caractère objectif principal, sinon leur essence même. La respiration consiste, il est vrai, en un échange continuel de gaz entre le sang et l'air qui nous environne; mais cette fonction exige, pour s'accomplir, l'action incessamment alternante de forces antagonistes qui appellent l'air dans la poitrine, et l'en expulsent tour à tour. L'hydrodynamique montre, dans la circulation du sang, que toutes ses lois régissent cette fonction organique, de telle sorte que, sur ce point, chaque progrès accompli complète davantage la fusion de la dynamique et de la physiologie. Que voit-on enfin dans toute expérience, dans toute vivisection? des mouvements produits par l'excitation des nerfs, par l'irritation directe des muscles de la vie organique ou de la vie animale, des mouvements de liquides sécrétés avec une rapidité plus ou moins grande. Des changements de température, qui ne nous sont exactement perceptibles que grâce aux instruments thermométriques par lesquels ils sont transformés en mouvements véritables. Les sons qui se produisent sont des mouvements vibratoires dont on apprécie les caractères et le nombre d'après le timbre et la tonalité du son.

Que restera-t-il donc des phénomènes de la vie en dehors de la dynamique animale proprement dite? Les actions chimiques? Elles sont déjà revendiquées par les physiciens, qui les considèrent comme une véritable dynamique moléculaire. Il ne restera que les phénomènes sensitifs et psychiques, que leur nature essentiellement subjective rend si difficiles à étudier sur autrui.

En somme, tout ce qui, en physiologie, est exactement comparable et mesurable se rattache à la dynamique animale; au mouvement fonctionnel.

L'étude d'une science, lorsqu'elle est suffisamment avancée, porte en elle-même un grand attrait. L'astronomie procure à l'esprit humain une des plus vives satisfactions qu'il puisse avoir; celle de contempler les lois exactes régissant les mouvements des astres dans les espaces infinis. L'organisme vivant n'est pas moins admirable à observer; Platon l'appelait le microcosme, car il avait su y deviner un monde de merveilles condensées dans un petit espace. Pour nous, à l'attrait de l'étude, se joint le but d'utilité qui relève encore notre profession, et qui suffit à stimuler le zèle de ceux chez qui est moins développé le sens de l'admiration de la nature.

Mais, que de difficultés ne faut-il pas surmonter d'ordinaire, avant d'arriver au plaisir d'apercevoir une vérité scientifique. Le choix de la méthode est d'autant plus important, que c'est de lui que dépendra la facilité ou la difficulté de la tâche.

(1) Le cours a lieu tous les mercredis, à deux heures, dans le laboratoire particulier de M. Marey, ancien Théâtre-Français, 14, rue de l'Ancienne-Comédie.

Digitized by Google

Je viens, messieurs, exposer devant vous une méthode nouvelle qui, je l'espère, simplifiera beaucoup l'étude, qui permettra d'en étendre le champ, et rendra plus claires les démonstrations. Un coup d'œil rapide sur les principales méthodes employées jusqu'ici est indispensable avant de commencer; vous excuserez, j'espère, ce qu'il y a de banal dans un semblable exposé, en faveur des faits nouveaux qu'il me permettra de mettre en relief.

Tout progrès dans les sciences ne s'effectue que par l'emploi combiné de divers procédés, qui sont comme de puissants leviers, au service de l'esprit humain. Nous voulons parler de l'*analyse*, qui constate et devine, et de la *synthèse* qui vérifie les phénomènes en les reproduisant. Bientôt un nouveau besoin se fait sentir, celui d'exprimer à autrui la vérité découverte, et de la perpétuer par l'écriture. Ces trois éléments du progrès : *analyse*, *synthèse*, *expression*, ont subi des transformations successives, se perfectionnant sans cesse, et gagnant toujours en puissance, à mesure qu'ils se perfectionnaient. Suivons-les un instant dans cette voie d'amélioration incessante; cela nous permettra de voir dans quel sens se sont réalisés les progrès, et dans quel sens par conséquent il faut en chercher de nouveaux.

L'*analyse* consiste à réduire à ses éléments les plus simples un phénomène trop complexe pour être saisissable. Si la multiplicité des actes simultanés offusque notre esprit, nous nous efforçons d'abstraire l'un de ces actes, nous l'observons de notre mieux, puis, passant à un autre, nous l'étudions de la même manière. Ainsi, vaincre successivement les obstacles qui se présentent, briser une à une les flèches dont le faisceau résistait à nos efforts, tel est le rôle de l'analyse, tel est la source de sa puissance. Mais, dans cette lutte de détails, des difficultés d'un autre ordre se présentent encore; elles tiennent à l'insuffisance de nos sens, auxquels échappent les objets trop petits ou trop grands, trop rapprochés ou trop éloignées, les mouvements trop lents ou trop rapides. L'homme a su se créer des sens plus puissants pour atteindre la vérité qui le fuit; il a rendu sa vue plus perçante à l'aide du télescope qui sonde l'immensité de l'espace, et du microscope qui explore l'infiniment petit. La balance et le compas en main, il estime avec précision le poids et le volume des corps, ce que son toucher ne lui indiquait que d'une manière grossière. Plus une science a progressé, plus il lui a fallu d'instruments, car elle a dépassé les horizons qu'embrassaient les regards de nos devanciers. Elle a franchi les limites du cercle dans lequel s'est agité longtemps l'esprit humain, s'épuisant à contempler la superficie des mêmes objets, usant dans une dialectique stérile la puissance qu'il emploie aujourd'hui à des observations rigoureuses.

Les instruments sont les intermédiaires indispensables entre l'esprit et la matière; le physicien, le chimiste, l'astronome, ne peuvent rien sans leur secours. L'anatomiste, le physiologiste, le médecin, ont aujourd'hui recours à l'emploi d'instruments, au grand profit de la science médicale. L'invention des injections cadavériques et celle du microscope, ont inauguré une ère nouvelle pour l'anatomie, qui doit à leur emploi, la perfection qu'elle a atteinte de nos jours. La physiologie procède de même; les manomètres, les thermomètres, des machines électriques variées, les appareils enregistreurs, etc., sont entre les mains de tous les physiologistes; ils leur permettent de substituer l'expérimentation proprement dite à l'observation toujours plus lente, et souvent impuissante à découvrir les lois qui régissent la vie. Les médecins eux-mêmes recourent à chaque instant à l'emploi d'instruments. La chirurgie en fait un usage qui touche à l'abus, tant elle a multiplié le nombre et varié la forme de ses pinces, de ses bistouris et de ses ciseaux. Cette exagération d'une tendance bonne en elle-même a poussé bien des médecins à une réaction fâcheuse. Certains médecins trouvent qu'une trousse est déjà un arsenal bien lourd à porter; ils voudraient la réduire encore. Je présentais un jour mon sphygmographe à l'un de ces praticiens ennemis de la nouveauté, et je faisais ressortir l'avantage qu'a cet instrument de reculer la limite de nos sens, en révélant à la vue ce qui échappe au toucher. Mon argumentation rencontra l'opposition la plus vive; ce respectable confrère déclara que, pour lui, c'était une mauvaise tendance que celle qui violentait la nature et voulait donner à nos sens plus de portée qu'ils n'en ont. En disant cela, mon interlocuteur fixait sur moi ses regards convaincus... à travers des lunettes.

Il faut, messieurs, n'avoir jamais été aux prises avec les difficultés de l'étude de la nature, pour n'avoir jamais senti et regretté l'impuissance de nos sens à saisir les détails d'une fonction physiologique. On doit donc s'efforcer d'y suppléer, à moins d'accepter comme définitif l'état actuel de la science, et de s'enrôler dans la nombreuse phalange des satisfaits. Il faut que chacun de nous cherche à réaliser par lui-même un progrès. On s'effraye en général de la difficulté qu'il y a à trouver quelque chose de nouveau; on entend répéter à chaque instant ce proverbe décourageant : Il n'y a rien de neuf sous le soleil. Reste donc la tâche plus ingrate de contrôler des expériences déjà faites. Mais alors même, un autre argument vous arrête. Comment espérez-vous, au début de vos études, observer mieux que Haller, que Spallanzani, que Müller. Si vous confirmez ce que ces maîtres ont observé, vous n'ajoutez rien à leur gloire. Si vous différez d'opinion avec eux, qui donc osera vous donner raison? Découragé de tous côtés, attendez-vous pour faire des recherches anatomiques qu'il arrive entre vos mains quelque animal exotique encore inconnu en Europe. Guetterez-vous les découvertes de la chimie pour essayer les propriétés physiologiques des nouveaux corps?

Telle est pourtant la fâcheuse tendance de notre époque; telle est la fausse idée qui arrête le zèle de bien des travailleurs. On s'imagine qu'il n'y a plus rien à trouver sur la route battue, ou tout au moins, que toutes les choses importantes y ont été observées; dès lors on renonce à toute recherche ou bien on se perd dans de minutieux détails. Nos plus grands physiologistes ne pensent pas ainsi heureusement; ils n'ont qu'à regarder devant eux pour trouver des choses nouvelles, qu'on a vues cent fois avant eux sans les comprendre.

Oui, messieurs, un étudiant de nos jours peut répéter une expérience de Galien; et il verra mieux que le médecin de Pergame. Car on sait mieux voir aujourd'hui. Notre esprit, éclairé par la science acquise avant nous, se laisse moins facilement surprendre par l'erreur. Nous reprendrons des expériences de Spallanzani, de Haller, et de Magendie, et nous observerons mieux que ces maîtres, parce que nous userons de moyens plus puissants. Que le niveau de l'esprit humain reste toujours le même, c'est possible, mais ce qui se perfectionne, ce sont les moyens d'analyse, les procédés et les instruments. Leur emploi fait toute notre supériorité.

La *synthèse* est le contraire de l'analyse, elle reconstruit ce qui avait été décomposé. Telle est la définition primitive

Digitized by Google

de la synthèse, considérée comme opération de l'esprit. Mais, lorsqu'on applique cette méthode à l'étude de la nature, elle perd son caractère abstrait et en prend un tout nouveau, qui l'éloigne un peu de ce que l'avait faite la définition scolastique. Prenons des exemples. Lorsque le chimiste a décomposé l'eau par l'analyse, et qu'il en a séparé ses deux éléments, oxygène et hydrogène, s'il recombine de nouveau ces deux gaz, il fait ce qu'on appelle la synthèse de l'eau. Or, dans cette seconde expérience, on trouve la plus satisfaisante démonstration de l'exactitude de la première. La synthèse a servi de contrôle à l'analyse. Nous assistons aujourd'hui à la constitution d'une science nouvelle : la chimie organique basée sur la synthèse. M. Berthelot, qui a attaché son nom à ce magnifique travail, a montré toute la fécondité de l'emploi de cette méthode.

La physique use de la synthèse encore plus largement. Tout appareil de démonstration est l'assemblage synthétique de mécanismes destinés à produire un phénomène que l'analyse à fait prévoir. Si l'on veut bien nous permettre de définir ainsi la synthèse, dont la nature a été si controversée, on voit qu'elle nous offre surtout le moyen de confirmer et de démontrer ce que l'analyse avait découvert.

Or, en physiologie, la synthèse n'a trouvé sa place que fort tard, c'est dire que le contrôle manquait à la plupart des théories déduites de l'observation. Aussi, que d'hypothèses non vérifiées nous ont légué les anciens ! La certitude scientifique n'est venue que du jour où l'expérimentateur, plaçant l'organisme dans certaines conditions déterminées par l'analyse, a pu reproduire à coup sûr un phénomène. C'est donc à la synthèse bien plus qu'à l'analyse que se rattache la méthode expérimentale, car l'essence de l'expérimentation est de vérifier les prévisions, de confirmer les théories, et de fournir en même temps une démonstration de leur exactitude, en rassemblant les conditions d'existence des phénomènes. Il est enfin une application de la synthèse aux faits physiologiques, qui me paraît susceptible de réaliser de grands progrès. Elle consiste à reproduire, en dehors de l'être vivant, l'élément chimique ou physique d'un phénomène. Ainsi pour démontrer l'action que de l'air exerce sur le sang à travers les parois des cellules pulmonaires, on fait voir que du sang veineux peut être hématosé par l'action de l'air à travers une membrane organique. Pour prouver l'influence des acides de l'estomac dans la digestion, on montre dans un matras que l'addition d'un acide à un mélange de suc gastrique et de viande provoque une digestion artificielle, qui ne s'opérait que très-incomplétement sans lui. Les phénomènes physiques ou mécaniques qui se passent chez l'animal vivant sont encore plus susceptibles de démonstration synthétique. On connaît l'ingénieux schème de Bernouilli et Hamberger, au moyen duquel on montre comment les intercostaux externes peuvent, en se raccourcissant, augmenter l'intervalle des côtes auxquels ils s'insèrent. Le schème de Weber sur la circulation parle plus aux yeux qu'une figure immobile, et nous espérons prouver plus tard que des schèmes perfectionnés peuvent reproduire d'une manière si parfaite les principaux phénomènes de la circulation, qu'ils constituent une démonstration péremptoire de leur nature intime. Les mouvements respiratoires, le rôle antagoniste des forces musculaires et de l'élasticité du poumon, la production de pressions variables dans la plèvre et dans les bronches, tout cela peut être reproduit par la synthèse avec grand profit pour la confirmation des théories et la clarté de la démonstration.

Des différents modes d'expression et de transmission des vérités découvertes.

Je ne m'étendrais pas, messieurs, sur l'antique invention du langage pour exprimer la pensée, sur la découverte de l'écriture qui la fixe sur le papier et la transmet jusqu'aux générations futures, sur l'invention de l'imprimerie qui propage les idées et en assure la perpétuité en multipliant indéfiniment leur représentation écrite. Tous ces bienfaits de la civilisation nous sont acquis; ils ne nous laissent qu'un regret, celui de ne pas voir s'établir une langue universelle permettant le libre échange de la pensée entre tous les peuples. Vous avez tous entendu formuler le regret de n'avoir même plus une langue scientifique. Le latin, qui servait jadis aux savants de tous pays pour communiquer entre eux, n'est plus parlé nulle part; on n'écrit plus en latin, et celui qui veut connaître ce qui se fait de nos jours en Europe est obligé d'apprendre les langues vivantes, c'est-à-dire de passer une grande partie de sa vie à des études préparatoires.

Cette langue universelle que nous appelons de tous nos vœux, elle existe pour la science, messieurs, ou du moins elle se forme, elle devra bientôt se répandre dans toutes les publications scientifiques. C'est du *graphique* que je veux vous parler. Aussi ancien que l'homme, le graphique comprend tous les signes de représentation naturelle des objets, de leur forme, de leurs changements d'état. Les ébauches de figures d'animaux que les hommes de l'âge de pierre gravaient sur des os ajourd'hui presque fossiles, les figures de géométrie que nous a léguées Archimède; les tableaux et les fresques que nous admirons encore après vingt siècles, toutes ces représentations d'animaux, de formes géométriques, de scènes plus ou moins animées, sont des expressions tellement naturelles de ce qu'on voulait montrer, qu'elles ont gardé leur sens précis à travers les siècles, et qu'aujourd'hui le Français comme l'Allemand en saisissent le sens, tandis qu'ils ne sauraient déchiffrer une vieille charte écrite il y a quelques siècles dans leur langue maternelle. C'est que tout ce qui est conventionnel est variable et muable; le langage et l'écriture des différents pays se modifient avec le temps, tandis que la représentation graphique des objets est restée immuable parce qu'elle était naturelle.

Mais dira-t-on, nous comprenons très-bien que le graphique exprime à la pensée la figure des corps, et même leur couleur; nous savons que grâce à l'introduction des notions de la géométrie dans l'art, la perspective peut même offrir à notre esprit l'idée des distances des objets entre eux. Mais tout cela diffère de la nature par l'absence d'un élément de grande importance; le mouvement, le changement d'état. Oui, direz-vous, nous voulons bien que l'anatomiste, que le botaniste, le zoologiste, usent du dessin ou même de l'art plastique pour nous donner la notion de la forme, de la couleur, des rapports des organes. Nous leur accordons le droit de figurer ce qu'ils ont vu au microscope, et de nous donner une idée de ce que nous ne saurions voir de nos yeux. Nous admettons qu'un traité scientifique, illustré de figures, nous donne une notion des instruments dont le physicien dispose, des matras et des cornues dans lesquels le chimiste met en action les différents corps; mais le mouvement de l'être vivant, le changement d'état des corps que la

Digitized by Google

chimie transforme, comment l'exprimera-t-on? Ce n'est qu'en vertu d'une convention que le peintre nous donne, par les attitudes des personnages, une idée des mouvements qu'il a voulu leur attribuer. En regardant un tableau de bataille, nous savons ce que veut dire cette hache levée qui ne s'abaissera pas, cet arc tendu dont le trait ne partira jamais. Tous ces mouvements figurés par le graphique ne nous sont intelligibles que parce qu'ils nous sont déjà connus. Mais un dessin ne saurait éveiller dans notre esprit l'idée d'un acte que nous n'aurions jamais vu s'accomplir.

A ces objections, nous allons répondre par des exemples. Lorsque Descartes imagina de représenter par des courbes l'état variable d'un phénomène, il posa les lois de la représentation graphique du mouvement, et créa une langue nouvelle dont les règles sont si simples, qu'elles n'empruntent presque rien à la convention. Voici ces règles en quelques mots :

Placez un carré de papier devant vous, et divisez-le en carrés plus petits par des lignes également distantes et qui, tirées parallèlement à ses bords, se couperont à angle droit; les petits carrés obtenus seront répartis en séries linéaires, verticales et horizontales. Sur la ligne horizontale qui limite en bas cette sorte de damier, ligne qu'on appelle *abscisse*, numérotons de gauche à droite chacun des carrés d'une série horizontale. Tout ce qui se passera dans chaque minute successive du phénomène devra être noté dans la série verticale du carré situé au-dessus du numéro d'ordre correspondant, c'est-à-dire que ce qui se passe dans la première minute se notera dans la première colonne verticale, ou au-dessus du chiffre 1 de la ligne des abscisses. Ce qui se passera dans la deuxième, la sixième, la quinzième minute, se notera dans la deuxième, la sixième, la quinzième colonne verticale, au-dessus du numéro d'ordre correspondant de la ligne des abscisses. Comment exprimer à son tour le changement qui arrive à chaque minute dans l'intensité du phénomène observé? Prenons sur le bord gauche du carré de papier la ligne verticale qui le limite, et notons-y de bas en haut des numéros d'ordre pour chacun des carrés, qui est le premier d'une série horizontale; la ligne qui porte cette notation se nomme *ligne des ordonnées;* elle sert de repère pour noter l'intensité du phénomène observé. Nous avons désormais tous les éléments nécessaires pour tracer la courbe des phénomènes.

Supposons, pour fixer les idées, qu'il faille exprimer graphiquement le changement de température d'un corps qui s'échauffe et se refroidit alternativement. Si, à la première minute, sa température est de 15 degrés, nous marquons un point sur le quinzième carré compté de bas en haut sur la première colonne verticale, c'est-à-dire en face du numéro 15 des intensités et du numéro 1 des temps. A la deuxième minute, le corps s'est échauffé de 3 degrés; on note sa température en face de la division 18 de la ligne des ordonnées, et de la division 2 de la ligne des abscisses. Le corps reste à la même température pendant les quatre minutes suivantes, on notera donc la persistance du même état par une série de points tous placés en regard du numéro 18 des ordonnées, mais échelonnés au-dessus des numéros 3, 4, 5, 6, des abscisses. Ainsi de suite jusqu'à la fin de l'expérience. Si l'on joint l'un à l'autre, par une ligne, chacun des points successifs qu'on a tracés de gauche à droite, il résultera une ligne sinueuse ou courbe des températures qui exprimera, suivant qu'elle s'élève ou s'abaisse plus ou moins haut et plus ou moins brusquement, que la température s'est modifiée, s'élevant et s'abaissant elle-même, et accomplissant ces variations avec plus ou moins de rapidité.

C'est par le même procédé que, dans les statistiques, on représente sous forme de courbes l'élévation ou l'abaissement du chiffre de la population d'un pays ou d'une ville, et qu'on exprime simplement et clairement l'intensité des variations que cette population a subies, le temps pendant lequel elle s'est accrue, a diminué ou est restée stationnaire.

En médecine, on peut exprimer également par des courbes la proportion de succès et de revers dans les opérations, les changements que subit jour par jour le poids d'un malade, les variations de fréquence de son pouls ou de ses mouvements respiratoires.

Depuis longtemps il existe une expression graphique de mouvements très-fugitifs, très-délicats, très-complexes, qu'aucun langage ne saurait exprimer. Cette admirable écriture se lit dans tous les pays; c'est à proprement dire, une langue universelle. Je veux parler de la notation musicale. Permettez-moi de faire ressortir en quelques mots toute l'ingéniosité d'une pareille représentation des sons. Vous verrez, chemin faisant, qu'on peut beaucoup emprunter à cette méthode dont l'auteur, Guy d'Arezzo, avait, pour ainsi dire, pressenti la géométrie analytique.

Étalez devant vous une *portée* de musique; vous y remarquez des coupures verticales qui correspondent à des *mesures*, c'est-à-dire à des intervalles de temps égaux. Or, n'est-ce pas la même expression des durées que dans le cas précédent où la ligne des abscisses est coupée à intervalles égaux par des lignes, dont l'intervalle correspond aux secondes. — Subdivisons cette mesure, nous y voyons des notes, très-pressées lorsqu'elles se succèdent à de courts intervalles, très-espacées quand elles ont chacune une durée plus longue ou quand elles sont séparées par des silences. N'est-ce pas toujours la même manière d'exprimer les durées. Chaque son n'est-il pas défini dans sa durée par l'espace horizontal qui lui est assigné. (Ici, toutefois, une objection se présente : pourquoi n'avoir pas poussé le raisonnement jusqu'à ses dernières conséquences, et n'avoir pas donné à chaque note la longueur horizontale qui correspond à sa durée? Pourquoi n'avoir pas représenté les silences par la longueur même de portions de mesure où rien n'est écrit, on eût supprimé ainsi un grand nombre de signes : pause, demi-pause, soupir et ses divisions. On eût moins recouru à la convention et la notation musicale eût exprimé d'une manière plus naturelle les durées des sons et des silences. Probablement que les exigences de la mise en page qui forcent à condenser certaines mesures d'un morceau pour gagner de l'espace, et à ne pas respecter l'égale division de la ligne des temps, a fait donner aux notes, pour plus de netteté à l'œil, ces formes arrondies au lieu des antiques carrés du plain-chant, dont la longueur variable eût si bien pu exprimer les durées.)

Continuons : voici plusieurs sons qui doivent être simultanés et former un accord. Comment exprimer cette simultanéité? En les superposant de façon que leur projection tombe sur le même point de la ligne des abscisses. La géométrie analytique ne procède pas autrement.

Mais la succession des sons et leur durée relative n'est qu'un élément de la musique; c'est la mesure. Il faut aussi apprécier la tonalité de chacun de ces sons. Quoi de plus simple que de classer chaque son d'après son altitude,

Digitized by Google

en vertu de cette simple convention qu'un son dont les vibrations seront plus nombreuses sera plus élevé dans la série. Dès lors la hauteur verticale de la note sur la portée représentera l'élévation du son, absolument comme dans notre premier exemple elle représentait l'élévation de la température. On saisit bien ici que la hauteur des notes est ainsi projetée sur la ligne des ordonnées. Je ne crois pas qu'on ait jamais rien observé en physiologie d'aussi complexe, d'aussi fugace et d'aussi difficile à représenter que certaines phrases musicales. Aussi n'aurons-nous affaire qu'à des figures beaucoup plus simples pour exprimer les phénomènes qui se passent dans l'organisme.

Jusqu'ici, nous avons supposé que l'observateur représentait graphiquement les variations d'un phénomène dont il avait noté toutes les phases à des intervalles égaux, ce qui suppose une grande somme de travail et d'attention pour ne pas commettre d'erreur. Mais voici qu'un immense progrès se réalise, et qu'on imagine des appareils qui suppriment l'intermédiaire de l'homme entre le phénomène et sa notation, appareils qui forcent, pour ainsi dire, la matière à écrire elle-même les changements d'état qu'elle subit.

MM. Poncelet et Morin imaginèrent le célèbre appareil enregistreur, destiné à déterminer les lois de la chute des corps. Vous savez que, jusqu'à nos jours, on mesurait le mouvement des corps qui tombent en prenant une série de mesures successives, de façon à trouver l'espace parcouru en une seconde, en deux secondes, etc. Le plan incliné de Galilée et la machine d'Atwood exigeaient un long tâtonnement pour la détermination du mouvement accéléré des corps graves. Dans la machine Poncelet et Morin, le corps pesant qui tombe porte une plume, et dans sa chute trace une ligne sur un cylindre couvert de papier, tournant autour d'un axe vertical avec une vitesse uniforme. Si l'on étale sur un plan le papier qui revêtait le cylindre, on y voit une courbe continue qui exprime d'une manière très-simple la position du corps grave à tous les instants de la chute.

Cet appareil est le premier des enregistreurs; il est basé sur le principe qui préside à la construction de tous les autres instruments que j'aurai à décrire devant vous, et qui tous ont pour but de rendre non-seulement perceptibles, mais exactement mesurables des mouvements trop faibles, trop rapides, trop lents ou trop complexes pour être appréciés par nos sens.

Dr MAREY.

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS.

PHYSIQUE MÉDICALE.

COURS DE M. GAVARRET (1).

De l'atmosphère (suite).

Distribution de la température. — Pour continuer nos études concernant l'influence de l'atmosphère sur les êtres organisés, nous avons besoin de connaître la distribution de la température à la surface de la terre, sur les hauteurs, dans les eaux et dans l'intérieur du globe. Avant d'aborder ce sujet, je dois entrer dans quelques détails sur les opérations suivies pour déterminer les températures moyennes. On a souvent proposé de déduire la température moyenne de la journée, qu'on appelle aussi température quotidienne, des deux températures extrêmes, et de considérer leur demi-somme comme étant la moyenne vraie; l'expérience a démontré que le résultat ainsi obtenu s'éloigne notablement de la moyenne quotidienne. On pourrait prendre vingt-quatre observations par jour, faire la somme et la diviser par vingt-quatre; outre qu'un pareil mode d'opérer serait très-pénible, la complication du procédé rendrait les chances d'erreur beaucoup plus grandes. Les résultats de l'expérience ont appris que quatre observations peuvent suffire; on les fait à l'Observatoire de Paris, à neuf heures du matin, à midi, à trois heures et à neuf heures du soir; Kaemtz conseille d'observer à quatre heures et à dix heures du matin, à quatre heures et à dix heures du soir; le quart de la somme des tempéraratures trouvées donne une valeur qui représente d'une manière suffisamment exacte la température moyenne quotidienne. Le thermomètre qui sert à faire ces observations doit être exposé à l'air libre, au nord d'un édifice, à 3 ou 4 décimètres de la muraille et loin de toute surface blanche propre à réfléchir la chaleur.

Il se produit chaque jour dans la température un minimum et maximum. Le minimum de température ne coïncide pas avec l'heure de minuit, moment où le soleil est le plus bas au-dessous de l'horizon, il a lieu quelque temps avant le lever du soleil. Ce résultat s'explique facilement : comme nous le verrons plus tard, toute la chaleur nous vient du soleil; dès que cet astre a disparu, la terre rayonne sa chaleur vers les espaces célestes, se refroidit, et ce refroidissement continue jusqu'au moment où le retour du soleil vient réchauffer les régions qu'il éclaire.

L'heure de la température moyenne de la journée n'est pas toujours la même; elle est variable suivant les saisons. En janvier, cette température moyenne s'observe vers dix heures du matin, au mois de juillet vers sept heures.

La température maxima se produit vers deux heures de l'après-midi. Le soleil envoie d'autant plus de chaleur à la terre que ses rayons sont moins rasants, que sa hauteur angulaire est plus grande; c'est donc à midi que la quantité de chaleur fournie est le plus considérable. Avant cette heure, la terre reçoit à chaque instant plus de chaleur qu'elle n'en perd par le rayonnement, sa température s'élève, et cet effet continue encore à se produire quelque temps après le passage du soleil au méridien; telle est la raison pour laquelle le maximum de la température quotidienne s'observe vers deux ou trois heures de l'après-midi.

Indépendamment de la température quotidienne, nous avons à considérer la température moyenne mensuelle; on l'obtient en faisant la somme des températures quotidiennes et en divisant le tout par le nombre de jours du mois.

La température moyenne annuelle se déduit de la somme des températures mensuelles que l'on divise par 12.

Une question des plus intéressantes est de chercher à quel mois correspond le minimum de température, à quel mois a lieu le maximum et vers quelle époque se produit la température moyenne de l'année.

Si l'on se laissait guider par les considérations astronomiques seules, on en déduirait que le maximum de température doit coïncider avec le plus long jour de l'année, c'est-à-dire avec le solstice d'été vers la fin de juin, et le minimum avec

(1) Voyez les numéros 7 et 8.

Digitized by Google

le jour le plus court, c'est-à-dire avec le solstice d'hiver vers la fin de décembre. Les mêmes considérations porteraient à admettre que la température moyenne doit se rencontrer à l'époque des équinoxes.

Le résultat des observations démontre que janvier est le mois le plus froid, et que le minimum de température se produit vers le 14 de ce mois. Le maximum a lieu vers le 26 juillet, et du 15 juillet au 15 août se trouvent les jours les plus chauds. Les températures d'avril et d'octobre se rapprochent le plus de la moyenne annuelle. Comme pour les températures quotidiennes, il n'y a donc pas concordance entre les températures extrêmes et les grandes époques astronomiques. En été, la terre perd par le rayonnement nocturne une partie de la chaleur que le soleil lui envoie pendant le jour, et cette perte varie suivant la durée des nuits. Ainsi, quoique à partir du solstice d'été l'action du soleil soit moins énergique, la terre ne perdant pas la nuit par le rayonnement autant de chaleur qu'elle en reçoit dans le jour, la température continue à augmenter jusque vers la fin de juillet, c'est-à-dire jusqu'au moment où il y a à peu près équilibre entre la chaleur reçue et la chaleur perdue. A mesure que le soleil se retire de notre hémisphère et s'abaisse sur l'horizon, la longueur des jours diminue rapidement et la température devient plus basse. Cet abaissement serait encore plus sensible si les couches superficielles de la terre ne restituaient point à l'air une partie de la chaleur qu'elles lui ont empruntée pendant l'été. La diminution de la température continue quelque temps après le solstice d'hiver jusque vers le 15 janvier, parce que la perte pendant la nuit l'emporte encore sur le gain de la journée.

Si l'on calcule les températures mensuelles observées dans un même lieu pendant plusieurs années, on trouve qu'elles varient notablement, tandis que la moyenne annuelle reste à peu près la même. Cette moyenne déduite d'un petit nombre d'années pourra être considérée comme l'expression réelle de la température moyenne du lieu; elle sera d'autant plus exacte que le nombre des années sera plus considérable. La température moyenne de Paris est de 10°,8, c'est le nombre donné par une série d'observations de trente-trois années.

Les circonstances qui modifient la température moyenne d'un lieu à la surface du globe sont les vents régnants, l'inclinaison du terrain, sa nature, son exposition, mais surtout la latitude et l'altitude.

Pour étudier les effets produits par la latitude, on considère les lieux situés sur un même méridien de l'équateur au pôle ; l'observation démontre que la température s'abaisse à mesure que la latitude s'élève. Le tableau suivant vous donne la vérification de ce fait :

Latitude.....	Équateur.	48°50'	60° à 70°	Pôle.
Température moyenne.	27°,30	10°,8	5° à 0	— 25° à — 30°

On se rend facilement compte de ces résultats en se rappelant que la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon est l'élément le plus important pour son action calorifique, et que plus l'angle que ses rayons font avec la surface de la terre est petit, moins grande est nécessairement la quantité de chaleur absorbée.

La température la plus élevée observée à l'ombre est de 47°,4 à Esné dans la haute Égypte; la plus basse de — 56°,7 a été constatée par le capitaine Back, dans l'Amérique du Nord. La différence est de 104°,1. Ce résultat est important ; il nous montre combien est considérable la différence des températures extrêmes que l'homme a pu supporter. A Paris, la température maxima a été de 38°,4 le 8 juillet 1793, et la température minima observée le 26 décembre 1778 a été de — 23°,5.

La température moyenne d'un lieu ne dépend pas seulement de sa latitude, mais aussi de son élévation au-dessus du niveau de la mer, de son altitude. Toutes les observations s'accordent pour montrer qu'en général les couches atmosphériques ont une température d'autant moins élevée qu'elles sont plus éloignées de la surface de la terre. L'explication de ce fait est facile. D'une part, l'air peut s'échauffer en absorbant la chaleur rayonnée par le soleil et par la terre ; comme cette absorption augmente en même temps que la densité de l'air, ce sont les couches inférieures qui s'échauffent le plus.

D'autre part, les couches inférieures de l'atmosphère s'échauffent au contact de la surface du sol, et s'élèvent par le fait de la diminution de densité qui en résulte. Dans ce mouvement ascendant, ces couches d'air se dilatent sous de moindres pressions et perdent nécessairement une partie de leur chaleur.

Le décroissement de la température avec la hauteur a été étudié par Gay-Lussac dans son voyage aérostatique; ce savant a trouvé qu'il est de 1 degré pour 190 mètres d'élévation dans l'atmosphère. Sur le flanc des montagnes, M. Boussingault a constaté un abaissement de 1 degré pour 195 mètres. L'altitude et la latitude produisent donc le même effet sur la température moyenne. Le tableau suivant donne de ce fait un exemple bien remarquable :

	Latitude.	Altitude. mètr.	Température moyenne.
Saint-Pétersbourg...	59°56'	0	3°,5
Métairie d'Antisana..	1°	4000	3°,5

Il résulte de l'influence exercée sur la température par l'altitude que, dans les régions équatoriales, il suffit de s'élever à diverses hauteurs dans l'atmosphère pour observer les mêmes variations de température que l'on constate à la surface de la terre en avançant sur un même méridien de l'équateur vers le pôle. Les résultats suivants ont été obtenus dans la région des Cordillères, comprise entre le 11° degré de latitude boréale et le 5e degré de latitude australe.

	Altitude. mètr.	Température moyenne.
Cumana.....	0	27°,05
Anserna Nueva.....	1050	23°,70
Latacunga.....	2861	15°,50
Cumbal.....	3219	10°,07
Antisana.....	4070	3°,40
Neiges perpétuelles..	4500	1°,60
Glaciers d'Antisana..	5460	— 1°,70

Dans toute situation géographique on peut donc arriver à la région des neiges perpétuelles, seulement il faudra s'élever d'autant plus qu'on sera plus près de l'équateur. Le tableau suivant le démontre parfaitement :

	Latitude.	Altitude. mètr.
Puracé.....	2°15'	4703
Mexique.....	16°	4500
Pyrénées.....	43°	2798
Ounalaska.....	53°	4070

On voit que d'une manière générale la limite des neiges éternelles s'abaisse de l'équateur vers le pôle. On peut donc

Digitized by Google

considérer le globe tout entier comme enveloppé par une couche de température sensiblement uniforme dans laquelle l'eau se trouve toujours à l'état de glace. A mesure qu'on s'éloigne de l'équateur, cette couche diminue de hauteur et vient se confondre avec le sol vers le 70e degré de latitude. C'est avec raison qu'on a pu comparer le globe à deux montagnes équatoriales, renversées sur leurs axes et adossées par leurs bases, puisque, en partant de l'équateur vers le pôle ou en gravissant une montagne placée sous la ligne, on passe par les mêmes variations de température.

La distribution de la végétation suit les mêmes lois. Au pied d'une montagne équatoriale vous trouverez la région des palmiers; si vous vous élevez sur cette montagne, vous arriverez à la région des oliviers; si vous montez davantage, vous passerez par la région des vignes; plus haut encore, se rencontreront les céréales, puis les bouleaux et les rhododendrons, vous ne trouverez plus ensuite que quelques mousses et la vie végétale s'éteint enfin sous les neiges éternelles qui recouvrent leur sommet. Partez de l'équateur et marchez vers le pôle, vous traverserez successivement les mêmes régions végétales jusqu'à ce que vous arriviez à ces zones glaciales où la végétation disparaît entièrement.

Dr E. Morin, préparateur du cours, pharmacien en chef à l'hôpital de Lourcine.

BULLETIN DES COURS.

M. Malaguti, doyen et professeur de chimie à la Faculté des sciences de Rennes vient d'être nommé recteur de l'Académie de Rennes, en remplacement de M. Mogin, appelé à d'autres fonctions.

Université de Bruxelles.

FACULTÉ DES SCIENCES

Chimie organique et inorganique. — M. Francoui.
Physique expérimentale. — M. E. Rousseau.
Botanique et physiologie des plantes. — M. J. D. Hannon.
Zoologie. — M. H. Lambotte.
Minéralogie. — M. H. Lambotte.
Psychologie. — M. C. Tibergien.
Haute algèbre. — M. A. Buisset.
Géométrie analytique a deux et a trois dimensions. — M. A. Buisset.
Géométrie descriptive. — M. A. Buisset.
Calcul différentiel et calcul intégral. — M. N. C. Schmit.
Statique élémentaire. — M. A. Buisset.
Anatomie et physiologie comparées. — M. H. Lambotte.
Anatomie et physiologie végétales, Géographie des plantes et familles naturelles. — M. J. D. Hannon.
Géologie. — M. H. Lambotte.
Astronomie physique. — M. N. C. Schmit.

FACULTÉ DE MÉDECINE.

Anatomie humaine générale (Anatomie des régions). — MM. P. J. Graux et J. Crocq.
Anatomie humaine descriptive, Démonstrations anatomiques. — M. L. Deroubaix.
Physiologie humaine. — M. T. Gluge.
Pharmacologie. — M. E. Hauchamps.
Anatomie comparée. — M. H. Lambotte.
Thérapeutique générale et pharmaco-dynamique. — M. C. N. Morel.
Pathologie et thérapeutique spéciales des maladies internes. — M. H. C. Lebeau.
Pathologie générale. — M. C. N. Morel.
Anatomie pathologique. — M. T. Gluge.
Pathologie chirurgicale et ophthalmologie. — M. J. Thiry.
Théorie des accouchements. — M. A. V. Pigeolet.
Hygiène publique et privée. — M. P. J. Graux.
Médecine légale. — M. P. Delvaux.
Clinique interne. — MM. J. Crocq (à Saint-Jean), A. V. Pigeolet (à Saint Pierre) et Defuisseaux (à l'Hôpital militaire).
Clinique externe. — MM. L. Deroubaix (à Saint-Jean), H. Rossignol (à Saint-Pierre) et Defuisseaux (à l'Hôpital militaire).
Pratique des accouchements. — M. L. Hyernoux.
Pratique des opérations chirurgicales. — M. H. Rossignol.
Clinique des maladies syphilitiques et cutanées. — M. J. Thiry (à Saint-Pierre).
Clinique des maladies des vieillards. — MM. P. Delvaux et T. Van Volxem (à l'Infirmerie).
Clinique des maladies des enfants. — M. Henriette (à Saint-Pierre).

Université de Palerme.

FACULTÉ DES SCIENCES PHYSIQUES, MATHÉMATIQUES ET NATURELLES.

Algèbre. — M. Albeggiani Giuseppe.
Géométrie analytique. — M. Maggiacomo Filippo.
Calcul différentiel et intégral. — M. Napoli cav. Federico.
Mécanique rationnelle. — M. Zappula Michele.
Géodésie théorique. — M. Caldarera Francesco.
Astronomie. — M. Cacciatore cav. Gaëtano.
Physique. — M. Blaserna cav. Pietro.
Chimie organique. — M. Cannizaro cav. Stanislao.
Chimie inorganique. — M. Lieben Adolfo.
Minéralogie et géologie. — M. Gemmellaro Gaëtano.
Zoologie et anatomie comparées. — M. Doderlein dott. Pietro.
Botanique. — M. Todaro dott. Agostino.
Chimie pharmaceutique. — M. Dotto-Scribani cav. Francesco.
Architecture. — M. Bapeto Michele.
Architecture décorative. — M. Basile Gio. Battista Filippo.
Agriculture. — M. Juzenga Giuseppe.
Géométrie descriptive. — M. Palermo-Barabino Francesco.
Hydraulique. — M. Giardina Antonio.

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE CHIRURGIE.

Clinique médicale. — M. Maggiorani dott. Carlo.
Clinique chirurgicale. — M. Gorgone cav. Giovani.
Clinique obstétricale et maladies des femmes et des enfants. — M. Pantaléo dott. Mariano.
Ophthalmologie et clinique ophthalmologique. — M. Furnari cav. Salvatore.
Botanique. — M. Todaro dott. Agostino.
Zoologie et anatomie comparée. — M. Doderlein dott. Pietro.
Physique. — M. Blaserna cav. Pietro.
Chimie organique. — M. Cannizaro cav. Stanislas.
Chimie inorganique. — M. Lieben dott. Adolfo.
Hygiène et médecine légale. — M. Cacopardo cav. Salvatore.
Anatomie humaine. — M. Randacio dott. Francesco.
Physiologie. — M. Piccolo cav. Girolamo.
Pathologie générale. — M. Corradi cav. Alfonso.
Pathologie spéciale médicale. — M. Coppola dott. Giuseppe.
Matière médicale et toxicologique. — M. Cervello dott. Niccolo.
Histoire de la médecine. — M. Morello cav. Paolo,
Anatomie pathologique. — M. Tommasi dott. Corrado.
Pathologie spéciale chirurgicale. — M. Manzella dott. Francesco.
Histologie. — M. Sape dott. Luigi.
Anatomie topographique. — M. Albanese dott. Enrico.
Clinique des maladies syphilitiques. — M. Monteforte dott. Gaëtano.

Le propriétaire-gérant : Germer Baillière.

Paris. — Imprimerie de E. Martinet, rue Mignon, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE NUMÉRO 11 10 FÉVRIER 1866

Paris, 9 février 1866.

M. Boussingault a présenté lundi dernier à l'Académie des sciences une note de M. le capitaine Caron, relative aux bulles qui se produisent d'ordinaire à la surface de l'acier en fusion. Ces bulles seraient dues à un dégagement gazeux provenant de la décomposition des vases siliceux dans lesquels on opère d'ordinaire. En effet, ces bulles ne se produisent plus lorsqu'on emploie des creusets de chaux ou de magnésie. M. Boussingault fait ressortir les avantages que pourraient présenter ces creusets pour les opérations industrielles exigeant une température élevée et l'utilité qu'il y aurait à remplacer, dans la construction des hauts fourneaux, les briques réfractaires siliceuses actuellement employées, — qui dégagent toujours une certaine quantité d'oxygène et provoquent ainsi fort intempestivement l'oxydation du métal qu'on veut réduire, — par des briques de magnésie qui ne présenteraient plus cet inconvénient et qu'on pourrait sans doute se procurer à très-bon marché, en appliquant les procédés imaginés par M. Balard pour extraire économiquement la magnésie des eaux de la mer.

Un mouvement très-remarquable vient de se manifester à Londres. Une Société de savants libres-penseurs, qui compte au nombre de ses adhérents sir Charles Lyell, sir J. Lubbock, le professeur Huxley, le professeur Tyndall, le docteur Hodgson, sir J. Bowring, le docteur Carpenter, etc., s'est formée pour donner aux ouvriers, à la place d'un sermon religieux, ce qu'on pourrait appeler un sermon laïque. Cette Société a loué, pour le dimanche soir, une salle, Saint-Martin's Hall, située au centre de Londres. Cette salle peut contenir plus de deux mille auditeurs, et le succès de ce nouveau mode d'enseignement est tel, qu'on se voit obligé chaque dimanche de refuser plusieurs milliers de personnes à la porte de Saint-Martin's Hall. Pour bien comprendre toute l'importance de ce succès, il faut se rappeler combien les Anglais sont stricts observateurs du dimanche.

C'est le professeur Huxley, un des naturalistes les plus éminents de notre époque, qui s'est chargé de prononcer le premier sermon laïque. Nous sommes heureux de pouvoir donner à nos lecteurs la traduction de cet intéressant et curieux discours.

M. Huxley est l'auteur d'un grand nombre d'ouvrages remarquables, notamment : *la Place de l'homme dans la nature*, et les *Éléments d'anatomie comparée*, livre dans lequel, sous un titre modeste, il aborde les considérations philosophiques les plus élevées. E. A.

SOIRÉES SCIENTIFIQUES DE LA SORBONNE.

CONFÉRENCE DE M. LECOQ
(correspondant de l'Institut).

Les volcans du centre de la France.

Mesdames, Messieurs,

Nous allons parcourir une magnifique contrée, et si je ne parviens pas à fixer votre attention, ce sera certainement la faute du guide qui va essayer de vous conduire; mais si je suis assez heureux pour vous intéresser, soyez bien persuadés, messieurs, que l'Auvergne est bien plus belle, bien plus remarquable que toutes les descriptions que je pourrais en faire.

J'aurais voulu, dans ce voyage, vous éviter le spectacle de la guerre et des combats; je ne le puis ; cette terre d'Auvergne où je vous prie de vous transporter par la pensée, n'est qu'un immense champ de bataille où deux ennemis puissants ont combattu, et où ces luttes sont à peine terminées.

Le feu et l'eau, messieurs, voilà les deux ennemis qui ont lutté si longtemps sur ce coin de la terre, qui, tour à tour ont triomphé, et qui sommeillent aujourd'hui sans que nous puissions assurer que leur repos soit éternel et que nous n'assisterons pas au réveil.

L'histoire de la terre, comme celle des nations qui l'habitent, n'est du reste que le récit de dissensions et de conflits. Si l'historien peut trouver dans les souvenirs des peuples, dans leurs annales, quelquefois mensongères, et dans leurs vieux monuments, la révélation des époques reculées de l'humanité; le naturaliste, lui aussi, interroge les ruines du globe, sonde ses profondeurs et trouve dans les couches plus ou moins anciennes de la terre, la filiation des événements qui se sont succédés, il étudie le grand livre de la nature dont les pages sont admirablement illustrées. Je me garderai bien

Digitized by Google

ici, messieurs, d'aller rechercher l'origine des mondes, de vous faire assister à la condensation de la nébuleuse terrestre; mais avant de vous montrer l'Auvergne en proie à ces feux souterrains qui en ont bouleversé la surface, avant de mettre sous vos yeux les données que j'ai pu recueillir sur cette arène de destruction et de combats, permettez-moi de vous dire un mot du sol sur lequel les événements se sont passés.

La France, cette nation aujourd'hui si puissante, n'a pas toujours existé; à l'époque où les premiers sédiments avaient lieu, l'Europe elle-même était encore ensevelie sous les flots d'un immense océan, où quelques îles seulement annonçaient l'apparition du continent que nous habitons.

Une de ces îles primitives, reliée par des sédiments à celles qui en étaient les plus voisines, constitue le plateau central de la France, sur lequel de si grands événements géologiques se sont accomplis.

Le premier, le plus grand de ces événements, est sans doute l'apparition de la vie. Elle s'est révélée par la présence des forêts de fougères et de lycopodiacées, qui ont donné naissance aux houillères. Des fougères arborescentes, dont les contrées humides de la zone torride pourraient à peine nous donner une idée, vivaient alors sur le sol de l'Auvergne, élevaient au-dessus des marécages leurs frondes élégamment divisées. D'autres fougères vivaient sous leur abri protecteur, et des espèces grimpantes, préludant aux lianes des régions tropicales, s'étendaient en guirlandes sur les vieux troncs des espèces arborescentes.

Le temps a nivelé ces géants de l'ancien monde, et leurs débris accumulés dans des vallées profondes sont pour nous des épargnes dont nous usons peut-être avec trop peu de discrétion.

Si le temps me le permettait, messieurs, je vous rappellerais cette grande époque de la nature, pendant laquelle ces puissants végétaux tranformaient les rayons solaires et emprisonnaient cette immense force latente, à laquelle une étincelle rend toute sa puissance; mais, j'ai hâte d'arriver à des époques plus rapprochées de la nôtre.

Déjà le plateau central n'est plus une île, il est entouré partout des sédiments superposés de la mer jurassique, dont les flots venaient battre ses rivages; les siècles s'écoulent, et, nous arrivons à l'époque tertiaire.

Un climat plus chaud que celui de l'époque actuelle, une évaporation plus active et, par suite, des pluies plus abondantes avaient rempli d'eau douce de nombreux bassins dispersés sur le sol de la France centrale; les lacs du Puy, d'Aurillac, de Montbrison, de Roanne, placés à des hauteurs différentes, amenaient leurs eaux dans un immense bassin, dans le Léman d'Auvergne, aujourd'hui comblé par une longue sédimentation et par des dépôts chimiques.

Cette belle Limagne d'Auvergne qui présente maintenant, suivant l'expression de Sidoine Apollinaire, *une mer de moissons*, cette Limagne que le roi Childebert « désirait tant voir de ses propres yeux, comme le chef-d'œuvre de la nature », était-elle un grand lac ou un estuaire qui versait ses eaux dans l'Océan? Nous ne pouvons discuter ici cette intéressante question.

Ces lacs bleus du plateau central existaient encore, quand de violentes convulsions vinrent agiter l'Auvergne. Jusque-là ces dépôts neptuniens avaient eu lieu sans secousse, sans que la présence du feu central se soit manifestée au dehors autrement que par des sources minérales abondantes, dont les calcaires avaient en grande partie comblé les trois grands bassins du Puy, d'Aurillac, et de Clermont. Mais alors, sur tous les bords de ces grands lacs, le feu essaye de se faire jour, la terre tremble, elle s'entr'ouvre, et les feux souterrains commencent une ère de destruction dont nous allons essayer de suivre les traces et de reconnaître les terribles effets.

Toutes ces éruptions, au nombre de plusieurs milliers dans le centre de la France, ont eu lieu sans doute, même les plus récentes, avant les temps historiques. Les plus anciens récits n'en font aucune mention. Grégoire de Tours ne dit pas un mot des volcans de l'Auvergne; Sidoine Apollinaire vit sur les lieux et décrit sa maison de campagne, sans se douter qu'elle est construite sur une coulée de lave; César et Tacite sont muets sur ces événements, et si Pline parle des volcans, c'est pour féliciter les Gaules de n'avoir pas eu ces bouches éruptives si fatales à l'Italie. L'incendie de l'Auvergne a donc devancé de beaucoup les vingt siècles de notre histoire.

Le croirait-on, messieurs, ce n'est que dans le siècle dernier que l'on a reconnu en France la présence d'anciens volcans. De Cassini et Lemonnier traversèrent l'Auvergne en 1739 et en 1740, pour tracer la méridienne de Dunkerque à Perpignan; ils plantèrent leurs signaux sur des montagnes évidemment éruptives, et ne s'aperçurent pas de la nature du sol qu'ils parcouraient. Delarbre assure que deux étrangers, Olzendorff, Anglais, et Bowls, Irlandais, furent les premiers qui reconnurent en Auvergne la présence des volcans, dans l'année 1750. Le voyage de Guettard n'eut lieu qu'en 1751, et ce fut dans la séance du 10 mai 1752, qu'il communiqua officiellement sa découverte à l'Académie des sciences, annonçant qu'il y avait aux environs de Clermont trois volcans, le puy de Dôme, Volvic, et Montrognon. Cette découverte qui nous paraît aujourd'hui si naturelle et si facile, ne date donc que d'un peu plus d'un siècle. (Plusieurs vues des montagnes volcaniques dessinées en grand et au pastel sont mises sous les yeux de l'auditoire et éclairées à la lumière électrique.)

Pour mettre de l'ordre dans l'étude de ces terrains volcaniques étendus ou dispersés sur tout le centre de la France, nous les partagerons en trois séries, selon l'époque de leur apparition : les terrains trachytiques, les terrains basaltiques, les terrains laviques.

Les premiers sont les plus anciens; les derniers sont

Digitized by Google

les plus modernes, et l'époque basaltique est intermédiaire. Toutefois, cet ordre de succession est loin d'être aussi net, aussi précis dans la nature que dans nos livres. Chacune de ces périodes empiète sur l'autre. Les roches trachytiques étaient loin d'avoir cessé de se produire, que déjà les basaltes s'épanchaient, et nous ne pouvons trouver aucun signe de démarcation entre les basaltes les plus modernes et les produits les plus anciens de nos cônes à cratères. Néanmoins, nous étudierons séparément et dans l'ordre que nous venons d'indiquer, les formations volcaniques du centre de la France. (L'obscurité est produite dans la salle, et de très-belles photographies, exécutées avec les magnifiques reliefs de M. Bardin, chef des travaux topographiques de l'École polytechnique, sont projetées sur le tableau. Les cônes volcaniques y sont représentés avec leurs cratères et leurs coulées. Le professeur explique les détails, fait remarquer la beauté sauvage de cette contrée volcanique, et se plaît à reconnaître qu'il doit à M. Bardin la possibilité d'avoir pu *porter l'Auvergne à domicile.*)

Il me serait impossible, messieurs, d'entrer ici dans les détails pleins d'intérêt que nous offrent ces terrains volcaniques; il nous suffira d'indiquer leurs principaux caractères, et les conséquences qui résultèrent pour le centre de la France de l'apparition des roches volcaniques.

Le terrain trachytique s'est montré dans toute sa puissance dans le Cantal, au mont Dore et au Mézenc. Dans cette dernière localité, ce sont des pics de phonolites qui dominent au milieu des basaltes. Au mont Dore, au Cantal, ce sont les trachytes qui occupent le centre des groupes. Tout nous porte à croire que les premières éruptions donnèrent naissance à des produits pulvérulents, à des cendres, à des roches brisées, à un mélange qui, à chaque irruption, devait obscurcir l'air pendant plusieurs jours; mais des pluies électriques devaient alors comme de nos jours descendre en véritables torrents sur ces matières divisées, et les entraînaient dans les vallées qu'ils ont comblées.

Des trachytes fondus coulaient en larges nappes sur ces conglomérats qu'ils ont préservés des érosions ultérieures, et c'est sur ces anciennes nappes de laves que se développent aujourd'hui les richesses pastorales du mont Dore et du Cantal.

Des dykes, des filons puissants, sont venus s'intercaler dans ces divers produits; détruisant les uns, consolidant les autres, et ajoutant, dans tous les cas, une élévation notable au grand plateau primitif de la France.

Les émissions des trachytes n'étaient pas terminées, qu'un flot de matière incandescente et basaltique vient s'appliquer sous l'écorce consolidée de l'Auvergne. Ce flot cherche à s'échapper; il brise, il soulève, il donne naissance aux plus anciens cratères, aux plus vastes coulées, il produit sur tout le plateau central une véritable éruption de pustules, lesquelles se font jour à travers tous les terrains, et même sous les eaux des grands lacs qui existaient encore, en partie, du moins, lors de ces grandes convulsions du globe.

La masse entière des basaltes n'a pu s'épancher au dehors; de nombreuses pustules soulevées n'ont pas été ouvertes; on y trouve la lave en les creusant, et le flot figé sous l'écorce primitive est tel en un point des environs de Clermont, que l'aplatissement du globe, calculé sur les mouvements du pendule, accuse ici $\frac{1}{88}$ au lieu de $\frac{1}{300}$ qui représente la dépression polaire.

Il me serait impossible de vous dire, messieurs, tout l'intérêt que ce terrain basaltique a pour le géologue. Il est répandu partout, autour des pics phonolithiques du Mezenc, sur les coteaux de l'Ardèche; il forme la grande chaîne des Coirons; il domine le bassin du Puy, s'étend en ceinture large et morcelée autour du Cantal et du mont Dore; il a préservé de l'érosion les collines calcaires des environs de Clermont, et comme je vous le disais, il s'est montré partout en filons, en dykes, en pustules éparses, au nombre de plusieurs milliers sur toute la France centrale.

Les formes du basalte sont aussi variées que les circonstances de son refroidissement: ce sont des prismes, des boules, des entablements tels, que l'Irlande et les îles basaltiques de l'Écosse ne nous offrent rien de plus remarquable ni de plus majestueux.

Autour de ces basaltes, des brèches, des pépérites, des roches composées de leurs débris et de ceux du terrain traversé par leur éruption; puis le sol resté ouvert a produit des émissions boueuses, coulant aussi dans ces vallées et s'y consolidant.

Ce n'était pas assez encore de ces magnifiques phénomènes, les basaltes, en brisant partout l'écorce de la terre, ont rappelé les sources minérales dont les dépôts avaient rempli les grands lacs. Les calcaires, la silice, le gypse, la magnésie, l'oxyde de fer, apparaissent de nouveau et viennent compliquer les produits de cette longue période.

Là ne devait pas se borner l'incendie général de l'Auvergne et du centre de la France, les volcans que nous appelons modernes allaient paraître séparés des basaltes par tout l'espace de temps nécessaire pour creuser les vallées qui ont reçu leurs laves. En effet, messieurs, ce n'est pas par des caractères minéralogiques que nous distinguerons les laves modernes des basaltes, mais par leur situation.

Les basaltes ont bien coulé aussi dans des vallées; ils en ont protégé le terrain, et tandis que l'érosion détruisait une partie du sol tertiaire de l'Auvergne, les vallées protégées devenaient les points saillants, tant il est vrai que la grandeur n'est que relative. Cherchez sous ces plateaux élevés, messieurs, et vous les trouverez assis sur des sables, des graviers et des cailloux roulés, signes certains qu'ils occupaient alors les parties les plus déclives du terrain.

Ces phénomènes de grande érosion avaient donc eu

Digitized by Google

lieu quand des cônes de scories tout à fait semblables à ceux des volcans contemporains s'élevèrent sur plusieurs parties du plateau central de la France. La date, relativement moderne de ces événements, est écrite sur ces montagnes. L'admirable conservation des cônes et des cratères, la fraîcheur des scories, sur quelques points, la nudité des laves, tout nous indique que les dernières révolutions du globe étaient terminées, que les derniers soulèvements étaient accomplis, et que les vallées modernes étaient creusées.

Les plus anciens de ces cônes à cratère sont ceux du Vivarais; ils sont au nombre de six, placés dans de hautes vallées, complétement isolés, et ont donné naissance à des coulées de lave admirablement prismée, décrites et figurées avec autant de luxe que d'inexactitude dans le grand ouvrage de Faujas de Saint-Fond.

A la même époque, s'élevaient à la fois dans l'Ardèche et dans la Haute-Loire, le suc de Bauson et les sucs de Breysse et de Cherchemuse; la nature ne prenait aucun repos; le feu combattait avec énergie. Déjà les montagnes du Puy-de-Dôme s'entr'ouvraient dans le canton d'Ardes et produisaient trois grands cônes de scories avec de profonds cratères et des laves prismées plus belles encore, mais moins connues que celles du Vivarais.

Enfin, arrive la période de nos petits volcans modernes, semblables à ceux qui sont dispersés sur les flancs de l'Etna, mais alignés tous nord-sud comme la plupart des accidents géologiques du plateau central. Un axe syénitique ayant cette direction, et séparant le granite du gneiss, a été peut-être la cause prédisposante de cet alignement.

Les laves de ces derniers volcans, en suivant les vallées transversales, se sont épanchées à l'est jusque dans la Limagne, à l'ouest dans la vallée de la Sioule, établissant des digues et constituant des lacs bleus, dont les eaux par leur patient travail ont fini par user les murs de leur prison.

Je ne puis vous décrire, messieurs, toutes ces coulées de laves et tous leurs accidents. Je ne vous dirai pas les luttes prolongées de ces fleuves de feu envahissant le lit de paisibles ruisseaux qui, maintenant, s'échappent en sources limpides et murmurantes de l'extrémité des coulées. Je ne vous parlerai pas de la beauté et de la conservation de leurs cratères, le temps me poursuit et m'oblige à me renfermer dans d'étroites limites.

Toutefois, messieurs, il est quelques faits trop importants pour que je les passe sous silence, et que je dois soumettre à votre judicieuse appréciation.

1° On est étonné, lorsque l'on étudie l'ensemble des montagnes volcaniques de la chaîne des monts Dômes, de voir disséminées, sans ordre apparent, au milieu des cônes de scories, des montagnes arrondies en cloches ou en dômes, sans la moindre trace de cratère. Ces montagnes, au nombre de sept à huit, sont constituées par une roche blanche ou jaunâtre à laquelle on a donné le nom de *domite*. C'est un véritable trachyte poreux.

Ces montagnes, dont la roche est évidemment plus ancienne que les scories qui les entourent, semblent une énigme proposée aux géologues; mais on remarque que chacune d'elles est accolée à un volcan moderne, et le puy de Dôme lui-même tient par la bonne moitié de sa hauteur à une masse de scories qui constituent le petit puy de Dôme et son cratère, le *Nid de la poule*. Des flots de lave sortent de la base du puy de Dôme et descendent dans la vallée de Royat.

La connexion des montagnes de domite avec les cônes de scories donne la clef de leur origine. Une large nappe de domite ou de trachyte s'étendait sur le plateau primitif. Les volcans modernes ont éclaté par-dessous, de là une série de pustules soulevées en dômes et en cloches. Les unes, et c'est le plus grand nombre, percées par l'éruption, ont été couvertes d'un manteau de scories; les autres intactes sont restées au milieu des cônes éruptifs. Si l'on doutait de cette action des volcans modernes éclatant sous une couche domitique, d'ailleurs très-étendue, on serait convaincu en visitant une montagne désignée sous le nom de puy Chopine, soulevée tout entière par l'énergie volcanique, avec la couche de domite, avec le sol primitif lui-même et le filon syénitique dont les volcans modernes ont suivi la direction.

2° Aucune coulée de lave n'est sortie des puys domitiques, puisqu'ils n'ont pas été percés, mais chaque colline de scories a donné naissance à un torrent de matière fondue qui s'est précipité dans une vallée présentant absolument les mêmes phénomènes que les laves contemporaines qui s'échappent des volcans brûlants.

J'appellerai, messieurs, votre attention sur un seul caractère de ces laves.

Quand les coulées sont très-longues, quand elles ont pu parcourir lentement une grande étendue de terrain, on peut quelquefois remarquer à l'extrémité des courants que la nature de la lave s'est modifiée. Des deux espèces minérales qui la composent, le feldspath ou le labradorite et le pyroxène augite, ce dernier paraît être en proportion plus grande à l'extrémité de la coulée. Il s'est produit pendant une marche lente et un refroidissement prolongé un phénomène de liquation qui a pu changer la couleur, la dureté et même la densité de la lave.

Quant au volume et à la masse de ces coulées ils sont considérables. En calculant la longueur et la largeur de ces nappes de lave, en prenant leur épaisseur moyenne, on arrive à des masses énormes.

C'est ainsi que nous avons évalué la coulée de lave de Montsineire à 447 milliards de kilogrammes, celle de Gravenoire à 148 milliards, celle de Pariou à 88 milliards. La masse de la lave de l'Etna, de 1669, la plus grande coulée de ce volcan, est égale à 364 milliards de kilogrammes.

La masse de la plus grande pyramide d'Égypte est de 6 milliards de kilogrammes. Ainsi la plus vaste coulée produite par l'Etna n'atteint pas le poids de celle de Montsineire, et cependant ce n'est peut-être pas la plus

Digitized by Google

grande que nous ayons en Auvergne. Cette coulée est soixante-douze fois plus pesante que le plus gigantesque monument des hommes, cette énorme pyramide dont la base occupe plus de 4 hectares et dont la hauteur atteint 145 mètres. Cette masse de lave l'emporte par son poids sur tous les peuples qui fourmillent et s'agitent sur la terre. Une pustule du globe que la volonté de Dieu fait surgir recèle dans ses flancs plus de matière que le genre humain tout entier!

3° Nous terminerons, messieurs, cette étude trop abrégée de nos volcans modernes, en vous faisant remarquer la présence de quelques cratères très-différents de ceux qui existent sur les cônes éruptifs, et que nous désignons sous le nom de *cratère d'explosion*. Ces cratères sont aussi désignés sous le nom de *cratères-lacs*, parce que la plupart contiennent de l'eau et sont très-profonds. Ils existent dans toutes les contrées volcanisées; ils appartiennent, selon nous, à l'époque des volcans modernes, et sont dus à l'explosion instantanée de grandes quantités de gaz accumulées dans l'écorce du globe. Les débris du terrain projeté sont accumulés autour de l'orifice et ne laissent aucun doute sur le mode de formation de ces bassins arrondis; il resterait tout au plus quelque incertitude sur l'époque de l'explosion. Elle pourrait, pour quelques-uns, appartenir à la période basaltique.

Pour ne pas sortir de l'Auvergne, nous citerons comme exemple de ces cratères celui de Pavin et celui de Tazana; tous les deux sont pleins d'eau, et un troisième complétement émergé, le beau cirque de la Vestide du Pal, situé dans l'Ardèche, au-dessus de Montpezat. Le fond plat de ce bassin, les quatre cônes de scories qui s'en élèvent, lui donnent la plus grande analogie avec les cirques de la lune.

Au reste, messieurs, il existe une grande ressemblance entre la lune et l'Auvergne. Cratères nombreux et rapprochés, cratères accouplés par deux ou par trois, pics élancés dont la base est couverte de débris, tout, dans notre satellite, nous rappelle l'Auvergne et les champs phlégréens. Il n'est pas jusqu'à ces cratères lunaires profondément creusés en dessous du sol, dont nous n'ayons en petit les représentants dans la chaîne de nos puys volcaniques.

Il existe, il est vrai, de bien grandes différences dans les proportions des cirques lunaires et de nos cratères; mais il faut se rappeler que la lune offre intacts tous les phénomènes plutoniques qui s'y sont accomplis. Du petit volume de la lune, comparativement à la terre, et de l'absence probable de son atmosphère, dépendent, en grande partie, les caractères principaux et différentiels de la géologie et de la sélénologie.

L'immensité des cirques de la lune, dont le diamètre peut aller jusqu'à 200 kilomètres, la multitude de ses cratères, dont on a compté au moins 50 000 sur la seule face que nous connaissons, ne peuvent être dues qu'à la faible pesanteur qui se manifeste sur un globe 49 fois plus petit que la terre, et n'ayant que la 84e partie de son poids.

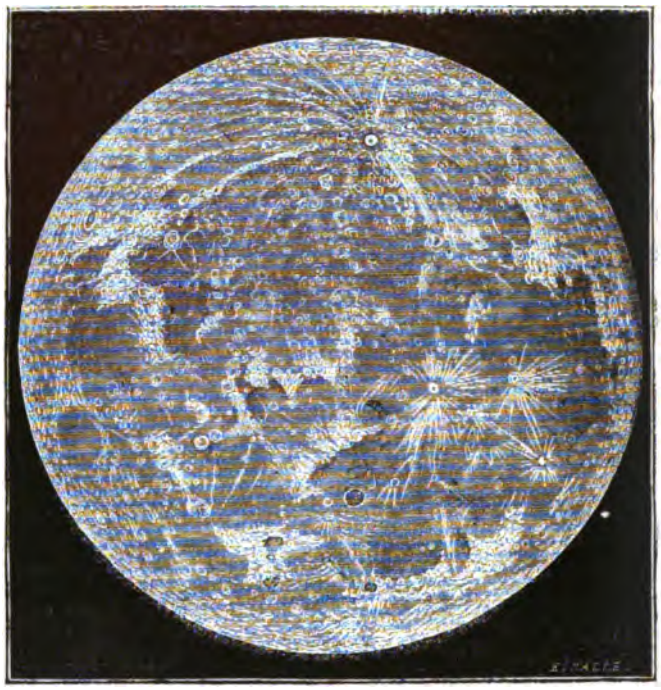


FIG. 50. — Vue photographique de la lune montrant les cratères de ses volcans (d'après l'*Astronomie* de M. A. A. Boillot).

Ni l'eau, ni l'atmosphère, ne viennent ajouter leur pression à cette faiblesse de cohésion, en sorte qu'une puissance, relativement très-faible, a pu briser, soulever, déchirer bien plus facilement la partie extérieure de la lune que celle de la terre, aussi les cirques sont bien plus grands et les montagnes plus hautes.

Il existe encore un fait considérable qu'il ne faut jamais perdre de vue; c'est le calme perpétuel qui doit régner sur un astre nu, sans enveloppe aérienne. Aucun météore ne vient user des rochers qui, peut-être, d'ailleurs, sont métalliques; aucune pluie ne vient les humecter; le vent ne vient pas les heurter avec violence. La nature y conserve son silence de mort et de désolation. Les ruines de notre satellite doivent être telles qu'elles se sont établies autrefois; rien n'a pu changer, et son disque doit nous montrer parfaitement conservés les moindres détails de ses dernières catastrophes, et sur une échelle bien plus vaste que celle qui nous sert à apprécier les faits géologiques de la terre. (Des dessins exécutés au pastel et au charbon par M. Rico, préparateur du cours d'histoire naturelle à la Faculté des sciences de Clermont, montrent quelques paysages lunaires, et notamment les cirques de Tycho, de Copernic et d'Aristillus.)

Je vous demande pardon, messieurs, de m'être égaré un instant sur ces terres inconnues, je reviens à l'Auvergne, et bientôt j'ai terminé. Je ne puis abandonner ce merveilleux pays sans vous signaler les résultats et la conséquence de la grande bataille que les éléments s'y

Digitized by Google

sont livrés. La victoire remportée par un incendie de plusieurs siècles a surajouté au plateau primitif de la France centrale une masse de 900 à 1000 mètres dans les points culminants. Le sol élevé de 900 mètres en atteint aujourd'hui 1800. C'était donner à la France, à partir de cette époque, un immense condensateur pour les nues, c'était créer les sources de la Loire et de la Dordogne, c'était condenser les vapeurs qui, sous la forme de ruisseaux limpides, descendent en murmurant dans la plaine. C'était réserver à l'avenir cette puissante force motrice des cours d'eau que l'industrie viendra plus tard réclamer à l'Auvergne, quand son activité croissante aura épuisé le mouvement latent accumulé par la nature dans les houillères, et auquel une étincelle rend sa puissance.

A dater de l'époque où les produits volcaniques ont élevé le terrain primitif, les neiges condensées ont pu s'accumuler sur le mont Dore et sur le Cantal. De là ces immenses alluvions sous lesquels sont rassemblés tant de débris de races éteintes, de là ces profonds ravinements et la dispersion de leurs produits tout autour de ces groupes de montagnes. C'est à la fusion vernale de ces neiges accumulées que nous devons l'aspect remarquable des vallées situées au sud du mont Dore. Un côté choqué par les projectiles que le courant entraînait, un côté préservé, rappellent tout à fait les paysages de la Suède et de la Norvége, où les mêmes phénomènes se sont accomplis sur une plus grande échelle.

C'est à la présence de ses volcans que l'Auvergne doit en partie la beauté et l'originalité de ses paysages. Leurs grands cônes rougis par les scories, leurs élégants cratères et leurs déserts de lave donnent des traits particuliers et sauvages à la physionomie de cette contrée. Ces longues coulées, en arrêtant les eaux, et en formant des lacs, en laissant sortir sur leurs bords des sources pures et abondantes, produisent tout à coup les contrastes les plus grands, en activant la végétation et en arrosant de magnifiques prairies. Au lieu de se rendre directement dans la rivière, un ruisseau, arrêté par la lave, constitue un lac, puis des sources nouvelles. Il développe les fleurs qui viennent briller sur les eaux, il maintient la fraîche végétation des fontaines, et va, par mille détours, humecter l'herbe et les fleurs de la prairie. Ce ruisseau ne tarit plus; si la pluie vient à lui manquer, le cône volcanique s'élève comme un condensateur dans les hautes régions, les nues sont attirées par les scories poreuses; elles y déposent sans pluie une partie de leurs vapeurs, et le cône lui-même se couvre de verdure.

Un autre résultat non moins remarquable de cette surélévation, c'est d'avoir créé pour les plantes des montagnes des stations qui n'existaient pas, et d'avoir ainsi donné à l'Auvergne de nouveaux décors qui lui eussent été refusés sans l'accumulation de ces laves.

Cent espèces de la flore du plateau central ne peuvent vivre qu'au-dessus de 1500 mètres, et ne seraient jamais arrivées en Auvergne sans l'élévation que les feux souterrains ont donné à leur sol. Ces plantes sont donc étrangères, et n'ont émigré dans cette nouvelle patrie, que par suite des conditions favorables qui leur étaient offertes.

Sans doute ces espèces existaient déjà sur d'autres points de la terre, car toutes appartiennent à la zone glaciale des montagnes. La chaîne scandinave soulevée la première, les Pyrénées dont l'apparition est plus récente, les Alpes de la Suisse, dont l'élévation est postérieure à celle des Pyrénées, possédaient déjà cette fraîche végétation des montagnes quand les volcans ont élevé de 800 à 900 mètres le centre de la France. Ce sont des colonies parties de points divers qui sont venues se fixer sur les sommets trachytiques de nos montagnes, tandis que d'autres originaires des rivages de l'Océan venaient habiter le bord des sources minérales dont les commotions volcaniques avaient favorisé l'émergence.

Chose singulière, messieurs, sur 100 plantes des hautes régions vivant actuellement en Auvergne, toutes se retrouvent ou dans les Alpes, ou dans les Pyrénées, ou dans la chaîne scandinave; 14 espèces sont propres aux Pyrénées seulement, et 7 se trouvaient dans les Alpes sans exister sur la chaîne pyrénéenne.

Ainsi, la flore alpine du plateau central ne lui appartient pas. C'est une flore colonisée comme ses habitants, qui n'ont dû venir habiter l'Auvergne que dans la période de calme qui a succédé à ces violentes commotions.

Sans les feux souterrains qui ont donné l'altitude à l'Auvergne, nous serions privés de ces fleurs charmantes qui ont besoin, pour vivre, de l'abri protecteur de la neige des montagnes et de l'azur du ciel pendant l'été. Nous n'aurions pas cette jolie gentiane bleue, dont la corolle pure signale le printemps des montagnes, ni ces tapis d'audrosaces aux fleurs carnées, ni cette belle anémone des Alpes, soumise à tous les caprices du vent. Nous ne verrions pas sur la lisière des neiges la soldanelle aux pétales frangés, préluder à l'été si court de ces stations élevées; nous aurions simplement la végétation ordinaire du centre de la France.

Mais comment ces plantes sont-elles parvenues sur les sommets de l'Auvergne, puisqu'elles n'y sont pas nées, et des distances considérables les séparent de leur lieu d'origine?

La nature, qui est le bulletin des lois de la Providence, a ses mystères que nous ne pouvons pénétrer.

Et d'ailleurs, messieurs, il est temps que je m'arrête, je ne dois pas abuser de la bienveillante attention que vous m'avez prêtée; la contrée dans laquelle vous avez bien voulu m'accompagner est remplie de merveilles, elle est à dix heures de Paris. Venez au printemps, nos volcans mettront leurs habits de fête pour vous recevoir, ils seront couverts de fleurs et de verdure.

HENRI LECOQ,
Professeur à la Faculté des sciences de Clermont.

Digitized by Google

SERMONS LAIQUES DE LONDRES.

M. HUXLEY.

De l'importance des progrès dans les connaissances naturelles (1).

Mesdames et Messieurs,

Il y a deux cents ans, au commencement de janvier 1666, ceux de nos ancêtres qui habitaient cette grande et ancienne ville de Londres reprenaient haleine entre deux terribles calamités : l'une avait perdu un peu de son intensité, l'autre allait les accabler.

A quelques pas même du lieu où nous sommes réunis, cette terrible, cette mortelle maladie, la peste, éclata dans les derniers mois de 1664, et quoique bien souvent déjà elle eût visité notre pays, elle décima, l'année suivante, le peuple de l'Angleterre, et principalement les habitants de la capitale, avec une violence inconnue jusque-là. La main d'un maître nous a retracé ce qui s'est passé pendant ces mois lugubres; dans cette fiction, la plus vraie de toutes les fictions, l'*Histoire de la grande peste*, Defoe nous montre la mort accompagnée de toutes les douleurs, de toutes les terreurs, rôdant dans les rues étroites du vieux Londres, changeant leur bourdonnement affairé en un morne silence, qui n'est plus rompu que par les gémissements de ceux qui pleurent cinquante mille morts et par les déplorables prédications, par les prières insensées des fanatiques ou par les imprécations plus insensées encore des voluptueux désespérés.

Mais vers le mois de janvier 1666, la mortalité était retombée à la moyenne ordinaire; à peine un cas de peste se présentait-il de temps en temps. Les riches citoyens qui avaient fui la ville empestée étaient rentrés dans leurs demeures. Ce qui restait du peuple retournait à ses affaires et à ses plaisirs accoutumés, et la vie de la vieille cité semblait reprendre son cours avec une nouvelle vigueur.

Cet espoir naissant était trompeur. La grande peste ne revint plus, il est vrai; mais le grand incendie, qui éclata dans l'automne de 1666, fut aussi terrible pour les maisons de Londres que la peste l'avait été pour les habitants. Au mois de septembre de cette même année, un monceau de cendres et l'indestructible énergie du peuple étaient tout ce qui restait des cinq sixièmes de la ville.

Nos ancêtres expliquaient à leur manière ces terribles calamités. Ils se soumettaient à la peste en toute humilité et faisaient pénitence, car ils la considéraient comme un châtiment de Dieu. Quant à l'incendie, ils n'en parlaient qu'avec colère et indignation; ils ne voulaient y voir que les effets de la méchanceté de l'homme, et l'attribuaient aux républicains ou aux papistes, selon qu'ils penchaient pour le roi ou pour le puritanisme. Nos ancêtres auraient, je crois, fort mal reçu tout homme qui, placé où je suis, au centre du Londres le plus populeux et le plus fashionable d'alors, aurait mis en avant la doctrine que je viens vous proposer, c'est-à-dire aurait soutenu que toutes leurs hypothèses étaient fausses; que la peste n'était pas plus un châtiment divin que le feu n'était l'œuvre d'une secte politique ou religieuse; mais que c'était eux, et eux seuls, qui étaient à la fois les auteurs de la peste et du feu, et que c'était eux seuls aussi qui pouvaient empêcher le retour de malheurs paraissant être le résultat si évident de la colère de Dieu ou des artifices et de la méchanceté de leurs ennemis. Les saintes malédictions des puritains de l'époque, les imprécations et les saillies pétillantes des Rochester et des Sedley, les insultes des politiques fanatiques se seraient sans aucun doute réunies en un harmonieux accord, si l'homme sensé que je suppose était venu leur dire que le triomphe de la foi de Laud ou de celle de Milton, ni la victoire du républicanisme ou celle de la royauté ne rendraient le retour de tels malheurs impossible; mais que le seul moyen d'atteindre ce but était que le peuple anglais secondât les efforts d'une société insignifiante, dont l'établissement, quelques années avant l'époque de la grande peste et du grand feu, avait été aussi peu remarqué que ces événements le furent beaucoup.

Vingt ans environ avant le commencement de la peste, quelques savants s'associèrent afin « de perfectionner l'étude des sciences naturelles » pour nous servir de leurs expressions. Si nous voulons indiquer le but qu'ils se proposaient, nous ne saurions mieux faire que d'emprunter les paroles de l'un des fondateurs de la Société.

« Notre but était, à l'exception toutefois de la théologie et de la politique, de discourir, de raisonner sur les recherches philosophiques et sur les sciences qui s'y rattachent, telles que : la médecine, l'anatomie, la géométrie, l'astronomie, la navigation, la statique, le magnétisme, la chimie, la mécanique, et les expériences naturelles; d'examiner l'état de ces sciences, d'en suivre les progrès en Angleterre aussi bien que dans tout autre pays. Puis, de nous entretenir de la circulation du sang, des soupapes des veines, des vaisseaux lactés, des vaisseaux lymphatiques, de l'hypothèse de Copernic, de la nature des comètes et des nouvelles étoiles, des satellites de Jupiter, de la forme ovale de Saturne (cette planète paraissait telle alors), des taches du soleil et de sa rotation sur son axe, des inégalités et de la sélénographie de la Lune, des phases de Vénus et de Mercure, du perfectionnement des télescopes, du poids de l'air, de la possibilité ou de l'impossibilité du vide, de l'horreur de la nature pour le vide, de l'expérience de Torricelli, de la chute des corps et de l'accélération de cette chute, et de bien d'autres choses de la même nature, quelques-unes étant alors de nouvelles découvertes, d'autres n'étant pas aussi étudiées qu'elles le sont à présent. En somme, nous nous occupions de tout ce qui a rapport à ce qu'on appelle la « nouvelle philosophie », qui, depuis l'époque de Galilée à Florence et de sir Bacon (lord Verulam) en Angleterre, a fait de nombreux progrès en Italie, en France et en Allemagne aussi bien qu'en Angleterre. »

Le savant docteur Wallis, qui écrivait en 1696, rapporte en ces termes ce qui se passait un demi-siècle auparavant, c'est-à-dire vers 1645. Les membres de la nouvelle Société se réunissaient à Oxford dans l'appartement du docteur Wilkins, qui plus tard fut évêque; puis, venant bientôt à Londres, ils attirèrent l'attention du roi. Une preuve remarquable du goût tout particulier qu'avaient les Stuarts pour les sciences, c'est que le plus indigne d'entre eux, Charles II, suivant l'exemple de son père et de son grand-père, ne se contenta pas de se moquer de ses philosophes, mais chercha à les aider autant qu'il était en son pouvoir. Non-seulement il leur consacra le

(1) Nous donnerons, dans ce discours, aux mots *connaissances naturelles*, la signification de l'expression anglaise, *natural knowledge*, qui embrasse toutes les connaissances relatives à la nature organique et inorganique.

Digitized by Google

temps qu'il pouvait dérober à ses chiens et à ses maîtresses, mais, sa bourse étant vide comme à l'ordinaire, il emprunta pour eux au duc d'Ormond. Celui-ci n'étant pas plus riche que son maître et ne pouvant rien lui prêter, le roi donna à la Société le collége de Chelsea, des priviléges et une masse; puis il mit le comble à ses bienfaits en n'imposant pas son patronage royal à la Société et en ne permettant aucune intervention de l'État dans ses affaires.

Ce fut ainsi qu'une demi-douzaine de jeunes gens poussés par l'amour de la « Nouvelle philosophie », en se réunissant pour causer de sciences, tantôt chez l'un, tantôt chez l'autre, tantôt à Oxford, tantôt à Londres, jetèrent, au milieu du XVIIe siècle, les fondements d'une Société qui, se développant chaque jour, était déjà devenue fameuse, à la fin du même siècle, sous le nom de « Société royale pour l'avancement des sciences naturelles », et avait acquis des titres au respect des Anglais, qu'elle a toujours mérité depuis, car elle est restée le principal foyer de l'activité scientifique dans notre pays.

Ce fut la Société royale qui se chargea de publier les *Principia* de Newton. Si tous les livres du monde, à l'exception des *Transactions philosophiques*, étaient détruits, on pourrait dire sans crainte de se tromper que les bases des sciences physiques resteraient inébranlables, et que les immenses progrès intellectuels des deux derniers siècles seraient transmis à la postérité, incomplets peut-être, mais tout au moins dans leur ensemble. Et maintenant encore, la Société ne montre aucun signe de décrépitude. Aujourd'hui, comme à l'époque du docteur Wallis, « notre but est de discourir, de raisonner sur les recherches philosophiques, à l'exclusion de la théologie et de la politique ». Mais nos mathématiques sont devenues telles que Newton aurait à retourner à l'école pour apprendre notre statique, notre mécanique, notre magnétisme, notre chimie; nos expériences naturelles forment un si vaste ensemble de connaissances physiques et chimiques, que Galilée, s'il pouvait en entrevoir la plus petite partie, serait dédommagé et au delà de toutes les persécutions de l'inquisition; notre médecine et notre anatomie ont embrassé une variété si infinie de sujets, nous ont ouvert des horizons si larges, que Vesale et Harvey seraient éblouis à la vue de l'arbre grandiose enfanté par le grain de moutarde qu'ils avaient semé. Peut-être même dirige-t-on trop l'attention à notre époque sur ce fait que cette merveilleuse croissance intellectuelle a une expression tout aussi étonnante dans la vie pratique, et que, sous ce rapport tout au moins, le mouvement symbolisé par le développement de la Société royale est sans parallèle dans l'histoire de l'espèce humaine.

Un nombre de volumes aussi considérable que les Transactions de la Société royale pourrait être rempli par les spéculations subtiles des philosophes scolastiques; il serait probablement nécessaire pour déraciner les idées erronées qu'a enfantées le moyen âge de dépenser plus de temps et d'énergie que pour acquérir la « Nouvelle philosophie. » Mais, quoiqu'un tel travail ait occupé les hommes les plus distingués de l'Europe, pendant un espace de temps plus long que celui qui s'est écoulé depuis le grand incendie, les effets en ont été nuls relativement à notre état social.

D'un autre côté, si le noble premier président de la Société royale pouvait revenir sur la terre, il se trouverait au milieu d'une civilisation matérielle, plus différente de celle du temps où il vivait que la civilisation du XVIIe siècle ne différait de celle du premier siècle de notre ère. Et si la profonde sagacité de lord Brouncker n'avait pas abandonné son fantôme, il ne lui faudrait pas de bien longues réflexions pour comprendre que tous ces grands vaisseaux, ces chemins de fer, ces télégraphes, ces manufactures, ces presses à imprimer, sans lesquels la société anglaise moderne s'affaisserait, il comprendrait, dis-je, que ces piliers de notre société ne sont que les rides et les bouillonnements du grand fleuve intellectuel que lui et ses collègues n'ont pu contempler qu'à sa source, et qu'ils reconnaîtraient comme celui qu'ils avaient essayé de conserver aussi pur et aussi transparent que possible.

Il serait facile de s'imaginer que notre noble *revenant*, tout plein encore du souvenir des malheurs qui ont troublé l'époque où il vivait, serait désireux de savoir combien de fois depuis son temps Londres a été brûlé, combien de milliers de personnes ont été emportées par la peste. Il lui faudrait apprendre que Londres contient dix fois plus de matières inflammables qu'en 1666; que, non contents de remplir nos maisons de boiseries et de draperies légères, nous conduisons des gaz inflammables et explosifs dans tous les coins de nos rues et de nos demeures, et que cependant nous ne laissons jamais une rue entière devenir la proie de l'incendie. Et s'il nous demandait comment nous nous y prenons, nous aurions à lui expliquer que les progrès des sciences naturelles nous ont fourni des quantités de machines destinées à jeter de l'eau sur le feu, machines sur lesquelles l'ingénieux M. Hooke, le premier curateur, le premier expérimentateur de la Société royale, aurait trouvé matière à discourir devant de nombreuses réunions de la Société; et que, pour tout dire, sans le progrès des sciences naturelles, nous n'aurions pas même pu fabriquer les outils qui nous servent à construire ces machines. Il faudrait, enfin, ajouter que, si parfois nous avons encore à déplorer de terribles incendies qui causent de grandes pertes, ces pertes sont ordinairement couvertes par des Sociétés dont les opérations n'ont été rendues possibles que par les progrès des mathématiques et par l'accumulation de la richesse, résultat du progrès d'autres sciences naturelles.

Mais la peste? Les observations de lord Brouncker ne lui permettraient guère, je pense, de conclure que les Anglais du XIXe siècle mènent une vie plus pure, ont une foi plus ardente que la génération qui a produit un Boyle, un Evelyn et un Milton. Peut-être trouverait-il la lie de la société au bas de l'échelle au lieu de la trouver au sommet; mais je crains bien, qu'en somme, les Anglais d'aujourd'hui ne méritent un châtiment aussi exemplaire que les contemporains de la Restauration. Alors notre devoir serait d'expliquer au noble lord, et cette fois, non sans quelque honte, que nous avons raison de croire que ce ne sont ni les progrès de notre foi ni ceux de notre moralité qui éloignent la peste de nos villes, mais que ce sont encore les progrès des sciences naturelles.

Nous avons appris que la peste ne vient visiter que ceux qui ont préparé un milieu propice à son développement. Les villes qu'affectionne la peste doivent avoir des rues étroites, jamais arrosées, encombrées de débris de toutes sortes; les maisons doivent y être malsaines, mal éclairées, mal ventilées; les habitants malpropres, mal nourris et mal vêtus. Tel était le Londres de 1666. Telles sont encore les cités de l'Orient que la peste ne quitte jamais. Quant à nous, dans ces derniers temps, nous avons commencé à comprendre quelque peu les lois de la nature et nous lui obéissons en partie. Grâce à cette addition à nos connaissances, grâce à cette obéissance partielle, nous n'avons plus de peste; seulement comme nos con-

Digitized by Google

naissances sont encore imparfaites, comme notre obéissance est encore bien incomplète, le typhus est notre compagnon, le choléra notre visiteur. Mais on ne saurait douter que quand nos connaissances seront plus parfaites, quand notre obéissance sera plus complète, Londres verra pendant des siècles disparaître le typhus et le choléra, comme depuis deux cents ans il a vu disparaître la peste qui vint trois fois en décimer les habitants pendant la première moitié du XVIIe siècle.

Y a-t-il dans ces explications quelque chose qui ne soit prouvé par les faits? Les principes sur lesquels reposent ces explications ne sont-ils pas admis aujourd'hui par tous les hommes sensés? N'est-il pas vrai de dire que nous sommes moins exposés aux incendies, à la famine, à la peste, en un mot, à toutes les calamités, que ne l'étaient les contemporains de Milton; n'avons-nous pas plus de richesses, plus de santé, plus de bien-être qu'ils n'en avaient? Eh bien, il est vrai aussi d'ajouter que cette différence de civilisation matérielle doit être attribuée à nos progrès dans les connaissances naturelles, et que cette différence tend à devenir d'autant plus grande que ces connaissances nous deviennent plus familières.

J'admets donc pour un instant ce que prétendent les ennemis des connaissances naturelles : que le seul but de ces connaissances, c'est d'ajouter aux ressources de notre civilisation matérielle; j'admets qu'il soit possible que les fondateurs de la Société royale ne se soient proposés que ce but; je ne crois cependant pas avoir été coupable d'exagération en disant que quiconque aurait eu assez de discernement pour comprendre la portée des événements en serait venu de suite à cette conclusion, que la fondation d'une Société destinée à faire faire des progrès aux connaissances naturelles était bien autrement importante que la grande peste ou que le grand feu; et que c'était là une fondation si féconde pour l'espèce humaine, que les maux causés par ces deux grandes calamités étaient insignifiants en comparaison. Car il est certain que si la peste a fait de nombreuses victimes, on peut trouver, pour chacune de ces victimes, des centaines d'êtres humains qui doivent leur existence, un certain bien-être sur cette terre, au métier à filer le coton. Et le grand incendie, quelque terrible qu'il fût, n'aurait jamais pu brûler tout le charbon qu'on peut aller chercher dans les entrailles de la terre, grâce à la pompe à vapeur, et dont l'emploi enfante une richesse telle que les millions perdus dans la destruction du vieux Londres ne sont rien en comparaison.

Mais la machine à filer le coton et la pompe à vapeur ne sont après tout que des jouets qui possèdent une valeur accidentelle. Les connaissances naturelles créent une multitude d'inventions plus subtiles dont on ne chante pas les louanges, parce qu'elles ne sont pas directement conversibles en moyens immédiats de créer la richesse. Quand je vois les connaissances naturelles répandre à profusion de tels bienfaits parmi les hommes, je ne saurais mieux les comparer qu'à ces paysannes qu'on rencontre dans les Alpes gravissant les montagnes, pesamment chargées, ne voyant rien, ne pensant qu'à leurs demeures; et cependant, tout en marchant, sans effort, sans y penser, elles tricotent pour leurs enfants. Sans doute les bas sont chose excellente, et les enfants qui les porteront ne s'en trouveront que mieux; mais, ne serait-ce pas être peu clairvoyant, pour employer l'expression la plus faible, que d'assimiler cette mère à une machine à faire les bas, que de lui attribuer le seul rôle de pourvoyeur d'objets matériels?

Il y a cependant des aveugles, et il y en a beaucoup, qui considèrent ainsi les connaissances naturelles, et qui ne peuvent voir dans ces mères bienfaisantes de l'humanité qu'une sorte de machine à comfort. Selon eux, le progrès de ces connaissances a toujours été et sera toujours synonyme du progrès des ressources matérielles et des jouissances de la vie.

Pour eux, les connaissances naturelles ne sont en aucune façon les véritables mères de l'espèce humaine, qui enseignent à l'homme avec bonté, ou s'il est besoin avec rudesse, la route qu'il doit suivre et tout ce qui est utile à son bien-être; ce ne sont, pensent-ils, que des fées prêtes à donner à leurs favoris des bottes de sept lieues, des lampes d'Aladin toutes puissantes pour qu'ils puissent établir une communication télégraphique avec la planète Saturne, apercevoir l'autre côté de la lune, et remercier Dieu de ce qu'ils valent mieux que leurs ancêtres ignorants.

Si tout cela était vrai, moi, tout au moins, j'aurais fort peu de goût à m'épuiser au service des connaissances naturelles. Si c'était là le seul but qu'elles pussent nous faire atteindre, j'aimerais infiniment mieux, je crois, façonner tranquillement ma hache de pierre, comme le faisaient mes ancêtres il y a quelques milliers d'années, que d'être obsédé de cette fièvre incessante de pensées qui nous accable tous à présent. Mais je crois pouvoir affirmer que de telles vues sont contraires et à la raison et aux faits. Ceux qui parlent ainsi me semblent si fortement préoccupés de savoir ce qu'il y a au-dessus de la nature, et ce qu'il y a derrière elle, qu'ils n'ont pas le temps de voir en elle, ce qui est parfaitement clair. Je n'oserais pas parler aussi positivement, si je ne trouvais ma justification dans les faits les plus simples et les plus évidents, si j'avais besoin de recourir à quoi que ce soit en dehors des vérités les mieux établies pour justifier mon assertion; que les connaissances naturelles, quelque direction qu'elles aient prise, quelque peu élevés qu'aient été les motifs de ceux qui les ont étudiées, ont non-seulement contribué au bien-être des hommes, mais ont aussi révolutionné les idées qu'ils se faisaient de l'univers et d'eux-mêmes, et ont profondément changé leur manière de penser et leurs notions du bien et du mal. Je maintiens que les connaissances naturelles, en cherchant à satisfaire des besoins matériels, ont mis au jour les idées qui seules peuvent calmer les besoins spirituels. Je maintiens que les connaissances naturelles, en cherchant à établir quelles sont les lois du bien-être, ont été portées à jeter les bases d'une morale nouvelle.

Examinons séparément ces points. Tout d'abord se présente cette question : quelles grandes idées les connaissances naturelles ont-elles inculquées à l'esprit humain?

Mon opinion est, que les bases des connaissances naturelles ont été posées le jour où l'homme doué de raison s'est trouvé placé face à face avec les faits naturels, le jour où le sauvage a compris qu'il y a plus de doigts dans les deux mains réunies qu'il n'y en a dans une seule, qu'il est plus court de traverser un fleuve que de le remonter jusqu'à sa source, qu'une pierre reste où elle est à moins qu'on ne la mette en mouvement, et qu'elle tombe à terre quand la main qui la tient la laisse aller, que les plantes et les animaux croissent et meurent, que s'il porte un coup à son voisin, il le mettra en colère et peut-être recevra un coup à son tour, et que si au contraire, il lui offre un fruit, il lui fera plaisir et qu'on lui rendra peut-être un poisson. Quand les hommes eurent acquis ces connaissances, ils eurent posé les bases, grossières il est vrai, mais enfin les bases des mathé-

Digitized by Google

matiques, de la physique, de la chimie, de la biologie, de la morale, de l'économie et de la politique. Et, dès que la science commença à se développer, la religion ne manqua pas de germer. Ce germe religieux se manifeste dans des expressions qui, quoique nouvelles, n'en sont pas moins vieilles de trois mille ans :

» Quand la lune brille majestueusement dans les cieux, » quand l'air est tranquille, quand montagnes et vallées lais- » sent apercevoir leurs plus petits détails, quand l'immensité » des cieux se révèle à la vue, quand les étoiles resplendissent » et que le cœur du berger bondit de joie. »

Car, si le Grec à demi-sauvage pouvait ainsi partager nos sentiments, est-il déraisonnable de penser qu'il allât plus loin, qu'il comprît comme nous qu'après un bref bonheur vient un chagrin certain, qu'il comprît comme nous que la faible lumière de l'intelligence humaine n'est qu'une étincelle au milieu des abîmes de l'inconnu et de l'insondable, étincelle qui semble ne pouvoir suffire qu'à éclairer les imperfections incorrigibles et les aspirations irréalisables de la nature même de l'homme. C'est dans cette tristesse, cette conscience du fini de l'homme, ce sentiment d'un secret qu'il ne peut pénétrer, que repose l'essence de toute religion ; dès que l'homme a essayé de revêtir ce sentiment religieux des formes familières à l'esprit humain, la théologie a été fondée.

Ainsi il semble impossible de mettre en doute que les bases de toutes les connaissances profanes ou sacrées aient été posées dès que l'intelligence humaine s'est fait jour, bien que ces connaissances soient restées pendant si longtemps si légères et si faibles, qu'elles ont pu s'accommoder de toutes les idées sur le plan de l'univers. Certains phénomènes présentent cependant un retour si constant que les esprits, même les plus grossiers, durent concevoir dès le principe l'idée de lois fixes régissant tout au moins ces phénomènes. Je doute que les plus grossiers adorateurs d'idoles aient jamais pu penser que ce fut un Dieu caché à l'intérieur d'une pierre qui faisait tomber cette pierre, ou que ce fut un Dieu caché à l'intérieur d'un fruit qui faisait mûrir ce fruit. Il est certain que l'espèce humaine s'expliqua tout d'abord d'une manière positive et scientifique tous les faits semblables.

Mais quant aux phénomènes moins familiers, l'homme ignorant s'est sans doute toujours pris lui-même comme le point de comparaison, comme le centre et la mesure du monde : comment d'ailleurs pouvait-il en être autrement ? S'apercevant que sa volonté, apparemment indépendante, peut causer de nombreux accidents, il a assez naturellement attribué les événements plus importants à des volontés plus puissantes ; et il en est arrivé à regarder le monde et tout ce qu'il contient comme le produit de volontés de personnes semblables à lui, mais plus puissantes, et capables d'être irritées ou apaisées de même que lui. L'espèce humaine tout entière a passé ou passe encore par de semblables conceptions sur le plan de l'univers. Nous pouvons à présent examiner quel a été le résultat du progrès des connaissances naturelles sur l'esprit des hommes qui en sont arrivés à ce point et qui ont commencé à étudier les sciences naturelles afin « d'augmenter la gloire de Dieu et d'améliorer la position de l'homme sur la terre. »

Par exemple : quoi de plus sage à un point de vue purement matériel, quoi de plus innocent au point de vue théologique, qu'un ancien peuple étudie l'exacte succession des saisons pour servir de guide au cultivateur ? étudie la position des étoiles pour servir de guide à ses grossiers marins ? Mais qu'est-il sorti de cette étude naturelle d'un caractère si exclusivement utilitaire ? Vous pourrez tous me répondre : l'astronomie. L'astronomie, science qui, plus que toutes les autres, a rempli l'esprit des hommes d'idées générales d'un caractère étranger à leur expérience journalière, et a contribué à leur faire repousser les croyances religieuses de leurs ancêtres ; l'astronomie, qui nous a enseigné que cette terre si vaste et qui nous paraît si solide n'est qu'un atome perdu dans les atomes, emportée, personne ne sait où, à travers l'espace infini ; l'astronomie, qui démontre que ce que nous appelons le ciel paisible est un espace rempli par une matière infiniment subtile, dont les molécules se heurtent et tourbillonnent comme les vagues d'une mer irritée ; l'astronomie, qui nous ouvre des espaces infinis où rien n'est connu, où rien ne semble avoir été jamais connu, que matière et forces agissant d'après des lois rigoureuses et inflexibles ; l'astronomie, qui nous fait contempler des phénomènes dont la nature même démontre qu'ils ont dû avoir un commencement, et qu'ils doivent avoir une fin, mais qui nous prouve aussi que, eu égard à l'idée que nous pouvons nous faire du temps, ce commencement est infiniment éloigné de nous, et que cette fin est tout aussi distante.

Mais ce ne sont pas ceux-là seuls qui étudient l'astronomie qui reçoivent de grandes idées. Quoi de plus innocent que d'essayer de soulever l'eau et de la distribuer au moyen de la pompe ? Mais c'est de la pompe qu'est sortie la discussion sur l'horreur de la nature pour le vide ; puis on a découvert que la nature n'a pas horreur du vide, mais que l'air a une certaine pesanteur ; cette découverte a préparé la doctrine que toute matière est douée de pesanteur, et que la force qui produit la pesanteur s'étend jusqu'aux limites de l'univers ; en un mot, la théorie de la gravitation universelle, de la force infinie. De même l'étude du gaz a conduit à la découverte de l'oxygène et à la chimie moderne, à la théorie de l'indestructibilité de la matière.

Et encore ; quoi de plus simple, quoi de plus parfaitement pratique que l'essai d'empêcher l'essieu d'une roue de s'échauffer quand cette roue tourne rapidement ? Quoi de plus utile pour les voituriers que de savoir quelque chose à ce sujet ? Combien était-il à désirer que quelque personne ingénieuse trouvât la cause de ce phénomène et indiquât le moyen de l'empêcher ? Le comte Rumford a été cette personne ingénieuse ; lui et ses successeurs nous ont amené à la théorie de la persistance et de l'indestructibilité de la force. Dans l'infiniment petit, de même que dans l'infiniment grand, physiciens et chimistes ont partout trouvé une succession de phénomènes, un ordre défini, qui semble n'être jamais violé.

Et à quoi la médecine et l'anatomie en sont-elles arrivées ? L'anatomiste, le physiologiste ou le médecin, dont l'étude est de se dévouer assidûment à ce but éminemment pratique, le soulagement des souffrances de l'homme, ont-ils pu se restreindre à ce qui était strictement utile ? Je crains qu'ils ne soient plus coupables que tous les autres. Car si l'astronome nous a démontré l'immensité infinie de l'espace, et l'éternité de la durée de l'univers ; si le physicien et le chimiste nous ont démontré la petitesse infinie de ses parties constituantes, l'éternité de la matière et de la force ; si tous ont proclamé l'universalité d'un ordre défini immuable, les naturalistes ont non-seulement accepté ces idées, mais y ont ajouté des découvertes extraordinaires. Car, de même que les astronomes

Digitized by Google

ont prouvé que la terre n'est pas le centre de l'univers, mais un simple point perdu dans l'espace, de même le naturaliste a prouvé que l'homme n'est pas le centre de la création vivante, mais un point dans les modifications infinies de la vie; et de même aussi que l'astronomie trouve la preuve d'un temps infini dans les combinaisons du système solaire, de même l'étude de notre globe nous prouve que des êtres vivants ont peuplé la terre pendant une série de siècles si considérable que, pour nous, c'est l'infini. En outre, le physiologiste constate que la vie, aussi bien que les phénomènes physiques et chimiques, ne trouve sa manifestation que dans un arrangement moléculaire particulier; et partout où il étend ses recherches, un ordre fixe, des causes immuables, se révèlent comme dans tout le reste de l'univers.

Il en a été de même pour la religion. La religion comme toutes les autres connaissances a été produite par l'action et la réaction de l'esprit de l'homme au contact de ce qui n'étai pas en lui; plus tard elle a revêtu la forme intellectuelle de l'idolâtrie ou du polythéisme, du théisme ou de l'athéisme, de la superstition ou du rationalisme. Je n'ai pas à m'occuper de ces différentes formes, il ne m'appartient pas d'indiquer leurs qualités ou leurs défauts; mais tout au moins dois-je dire que si la religion de notre époque diffère de celle du passé, c'est que la théologie est devenue à notre époque plus scientifique qu'elle ne l'était anciennement, c'est qu'elle a non-seulement renoncé aux idoles de bois et de pierre, mais qu'elle commence aussi à comprendre la nécessité de renverser les idoles faites de livres, de traditions et des fragiles réseaux ecclésiatiques, c'est qu'elle commence à chérir la plus noble, la plus humaine des émotions de l'homme, l'adoration silencieuse devant l'autel de l'inconnu et de l'insondable.

Voilà quelques-unes des nouvelles conceptions que les progrès des connaissances naturelles ont fait germer dans l'esprit humain. Les hommes ont acquis l'idée de l'étendue infinie de l'univers et de son éternité; ils se sont familiarisés avec l'idée que notre terre n'est qu'un fragment infime de l'univers visible et que néanmoins, si nous en jugeons par les notions que nous pouvons nous faire du temps, la durée du globe sur lequel nous vivons est infinie. Ils ont en outre compris que l'homme n'est qu'une des variétés innombrables des êtres existant actuellement sur le globe, et que les êtres actuellement vivants ne sont que les descendants d'une incommensurable série de prédécesseurs. Enfin chaque pas que les hommes ont fait dans les connaissances naturelles a eu pour conséquence d'étendre, d'imprimer dans leur esprit la conception d'un ordre défini de l'univers, ordre défini, incorporé dans ce qu'on appelle, par une malheureuse métaphore, les lois de la nature ; chacun de ces pas a eu en outre pour résultat d'affaiblir la force de la croyance à la spontanéité ou à des changements autres que ceux qui découlent de cet ordre défini lui-même. Que ces idées soient fondées ou non, là n'est pas la question. Qui peut nier qu'elles existent, qui peut nier qu'elles aient été le résultat des progrès dans les connaissances naturelles? Et s'il en est ainsi qui peut douter que ces connaissances touchent aux convictions les plus chères et les plus importantes de l'homme?

Si nous passons au second point, si nous examinons de quelle façon le progrès des connaissances naturelles a changé ce qu'on peut appeler l'éthique intellectuelle de l'homme, nous nous demanderons d'abord quelles sont les idées morales les plus fortement enracinées dans l'esprit des peuples sauvages ou à demi-civilisés? C'est la conviction que l'autorité est la base la plus ferme de la foi; que la facilité à croire est un mérite, le doute un mal et le scepticisme un crime; que lorsqu'une bonne autorité a indiqué ce qu'il faut croire, et que la foi a accepté cette croyance, la raison perd ses droits. Il y a encore bien des gens excellents qui défendent ces principes; je n'ai pas actuellement l'intention de discuter leurs vues. Tout ce que je désire vous faire clairement comprendre, c'est le fait indubitable que les progrès dans les connaissances naturelles s'effectuent par des méthodes, qui donnent un démenti formel à ces convictions et prouvent que le contraire est vrai.

L'homme qui s'occupe de faire avancer les connaissances naturelles refuse absolument de reconnaître une autorité en tant qu'elle n'est qu'autorité. Pour lui le scepticisme est le plus sacré des devoirs, et la foi aveugle une faute impardonnable. Il ne peut en être autrement car chaque grand progrès dans les connaissances naturelles a impliqué le rejet absolu de toute autorité, l'amour du plus profond scepticisme, l'annihilation de tout esprit de croyance aveugle ; et l'admirateur le plus ardent des sciences conserve ses plus fermes convictions, non point parce que ce sont celles des hommes qu'il vénère le plus, ou parce que leur véracité est prouvée par des prodiges et des merveilles, mais parce que son expérience lui enseigne que, dès qu'il voudra mettre ces convictions en contact avec leur source première, la nature, dès qu'il désirera les confirmer en en appelant à l'expérience et à l'observation, la nature les confirmera. L'homme de science a appris à croire à la justification, non par la foi, mais par la vérification.

Ainsi sans vouloir, même pour un instant, prétendre mépriser les résultats pratiques, les bienfaits matériels, qui ont découlé du progrès dans les connaissances naturelles, il faut, je crois, admettre que les grandes idées que j'ai indiquées, que l'esprit moral, que j'ai essayé d'esquisser dans les quelques minutes qui me restaient, constituent la signification réelle et permanente de ces connaissances.

Si ces idées sont destinées, comme j'en suis convaincu, à s'établir de plus en plus fermement, à mesure que le monde devient plus vieux ; si cet esprit est destiné, comme je le crois, à pénétrer dans toutes les parties de l'espèce humaine, et à s'étendre à mesure que le champ des connaissances s'accroît; si à mesure que notre race s'approche de la maturité, elle découvre, comme elle le découvrira sans doute, qu'il n'y a qu'une seule sorte de connaissances, et qu'une seule méthode pour les acquérir; alors nous, qui sommes encore des enfants, nous devons sentir que notre devoir le plus sacré est de reconnaître l'utilité du progrès dans les connaissances naturelles, et de préparer ainsi à nous et à notre postérité une route plus facile vers le noble but que doit atteindre l'espèce humaine.

Traduit sur le texte d'HUXLEY, avec l'autorisation de l'auteur,
par E. BARBIER.

Digitized by Google

CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS.

CHIMIE AGRICOLE (1).

COURS DE M. BOUSSINGAULT
(de l'Institut).

Structure des tissus végétaux. — Utricules ou cellules.

Une plante a ordinairement des racines, une tige, des branches, des feuilles, des fleurs, et plus tard des fruits et des graines. Si l'on décompose ces parties constitutives de la plante, par une suite d'analyses de plus en plus minutieuses, on finit par en trouver qui ne se prêtent plus à aucune division. On les considère comme les éléments du corps qu'on examine, et on leur donne le nom *d'organes élémentaires*. Dans cette étude, on s'arrête à la limite au delà de laquelle nos sens, aidés des moyens les plus puissants que la science nous fournisse, ne nous montrent plus rien de net et de certain. Cette limite a déjà été reculée assez loin par le perfectionnement des méthodes et des instruments d'observation, surtout du microscope.

Lorsqu'on examine avec cet instrument une portion quelconque d'un végétal, le dernier degré de division auquel on est parvenu le montre composé d'une foule de cavités de formes et de grandeurs différentes. Les unes sont circonscrites par une paroi qui leur est propre, comme le serait, par exemple un sac; les autres ne sont que les intervalles des premières, les vides que ces sacs, placés les uns à côté des autres, laissent entre eux, partout où leurs parois ne se touchent pas immédiatement. Les cavités qui ont une paroi qui leur est propre, portent le nom de *cellules;* celles-ci, en se modifiant, forment les fibres et les vaisseaux. Lorsque les cellules ne sont pas serrées les unes contre les autres, leur surface est courbe, leur forme est celle d'une sphère ou d'un ellipsoïde. Quand, au contraire, en se développant elles se pressent mutuellement, les faces ainsi en contact s'aplatissent, et elles prennent la forme d'un solide à plusieurs angles, ou polyèdre. La membrane qui constitue les parois de la cellule est en général mince, diaphane, et ne présente aucune ouverture appréciable.

Les cellules contiennent dans leur intérieur diverses matières qui peuvent être gazeuses, liquides ou solides : de l'air plus ou moins altéré, quelquefois de l'oxygène ou de l'acide carbonique ; les matières liquides sont la séve des sucs de nature diverse, des huiles grasses ou volatiles ; les matières solides sont la chlorophylle ou matière colorante verte, la fécule formant des grains incolores ovoïdes ou sphéroïdaux, des granules irréguliers d'une substance organique azotée nageant dans le liquide qui les baigne et des cristaux de différents sels, particulièrement de carbonate ou d'oxalate de chaux. On trouve aussi un amas de granules en forme de boule ou de lentille et qu'on a nommé *nucleus*, noyau de la cellule, ou *cytoblaste*. Le fluide visqueux qui entoure le nucleus a reçu le nom de *protoplasma*. Une cellule donne naissance à d'autres cellules : le protoplasma ne pouvant plus remplir la cavité qui continue à croître se creuse de petites vacuoles, à la manière de l'écume, ou se distend en filaments irréguliers qui vont du nucleus à la paroi ; il y a aussi un dédoublement de la cellule primitive qui se cloisonne et forme plusieurs autres cellules indépendantes. C'est un phénomène digne de remarque, que de voir tous les arbres naître d'une cellule. Le Chêne, ce monument des forêts, est parti d'une cellule primordiale et la masse tout entière est le produit du travail d'une infinité de cellules.

Cette structure si simple porte à croire qu'une plante peut durer indéfiniment, car elle peut chaque année produire des nouvelles racines, des nouvelles fleurs, des nouvelles fibres, etc. On peut comparer les plantes au polype qui, en se multipliant comme les bourgeons d'un arbre, finissent par devenir des bancs immenses d'un accroissement indéterminé. Il en est autrement des animaux supérieurs qui doivent vivre toujours au moyen des mêmes organes ; la destruction de ces organes entraîne la mort de l'individu. Dans un arbre, une partie peut mourir et le reste continuer à s'accroître. Les végétaux ne meurent que d'accidents étrangers à leur âge, et cet accident est étranger à leur organisation. Le vent en cassant des branches produit une gouttière intérieure d'où résulte la carie du tronc : c'est là une cause fréquente de mort. La foudre en détruit aussi un grand nombre en faisant éclater l'arbre par son passage ; les insectes et les végétaux parasites sont aussi une cause de destruction.

Les plantes n'ont pas, comme les animaux supérieurs, une vie moyenne, et l'on recherche avec curiosité ceux qui, à l'abri des causes de destruction, comptent plusieurs siècles d'existence. Dans les dicotylédonées, le moyen le plus simple de déterminer l'âge est de compter les couches annuelles, quand on peut examiner la coupe transversale du tronc. Dans ce cas, il faut détruire l'arbre. On sait qu'en général chaque année donne une couche marquée sur la coupe par une raie circulaire.

Certaines années peuvent en former deux, dans d'autres, au contraire, une couche peut à peine se produire, et il y a là une sorte de compensation. Dans nos climats, ce moyen est exact. Quand on ne peut pas voir la coupe, on compare la grosseur à celle d'arbres de la même espèce dont on a pu connaître l'accroissement. Lorsque l'arbre a atteint un certain âge, quarante ou cinquante ans, les couches successives sont plus uniformes. Il y a trois périodes à considérer dans la vie des arbres : 1° de la germination à la première floraison; 2° de la première floraison à l'époque où l'accroissement de la tige diminue; 3° cette période se prolonge jusqu'à la mort de l'arbre.

Dans les monocotylédonées, on ne peut pas connaître l'âge de l'arbre par l'observation d'une section de l'arbre ; en effet, il n'y a pas de couches successives, les faisceaux sont disposés sans ordre apparent, les uns plus en dedans, les autres plus nombreux en dehors, au milieu du tissu cellulaire. Voici certains cas de longévité observés parmi les végétaux :

EUROPE.

	Hauteur.	Circonférence du tronc.	Age.
	mètr.	mètr.	ans.
Pin sylvestre	45	1,0	600
Epicéa	49	6,9	150
Tilleul de Fribourg	23	11,7	400
Platane	29	4,8	?
Chêne de Pleischwitz	24	1,4	700

(1) Voy. les numéros 1, 2, 6 et 8.

Digitized by Google

AMÉRIQUE.

Dragonnier d'Orotava	24	24,0	?
Cedrela mahogoni (acajou)	?	1,8	5 à 6000
Cyprès d'Oxaca	32	2,0	?
Zamang del Guayre	19	9,0	?
Palmier	23	1,0	?
Ceroxylon andicola	70	0,9	?
Wellingtonia (Californie)	114	5,0	3 ou 4000

Le Dragonnier d'Orotava est aujourd'hui l'un des plus anciens monuments du monde. Lors de la découverte de l'Amérique, en 1492, le Dragonnier avait les mêmes proportions qu'il a actuellement.

Le Mahogoni, ou bois d'acajou, est un arbre d'une très-longue durée. On affirme qu'il doit être âgé de deux siècles pour donner une quantité suffisante de bois de cœur.

Le Zamang del Guayre se voit à plus d'une lieue. C'est une belle espèce de *Mimosa*; ses branches forment une cime hémisphérique de 187 mètres de circonférence, elles s'étendent comme un vaste parasol. Cet arbre est un objet de vénération pour les Indiens, et depuis qu'on l'observe il ne paraît pas avoir changé d'aspect; les premiers conquérants de Venezuela semblent l'avoir trouvé avec les mêmes proportions qu'il possède aujourd'hui.

Les arbres très-vieux appartiennent à la troisième période de la classification forestière. On remarque, en prenant une unité de temps et une unité de surface convenables, que la production des arbres est inférieure à la production des plantes. Ainsi une forêt des Vosges produit, en prenant la moyenne d'une période de soixante-neuf ans, 40 quintaux de bois sec par an et par hectare, tandis qu'on récolte, pour le même temps et la même surface :

Foin sec	45 quintaux.
Trèfle et luzerne	51
Froment, paille et grains	40

Constitution chimique des végétaux.

Nous avons étudié la matière organisée brute, c'est-à-dire formée de carbone, d'hydrogène, d'oxygène, d'azote, de divers sels, etc., et nous avons vu que l'atmosphère et le sol contenaient ces éléments. En résumé nous avons trouvé :

Dans l'atmosphère et dans le sol :	*Dans la plante :*
Acide carbonique et eau.	Carbone, oxygène, hydrogène.
Azote assimilable, nitrates.	Azote.
Phosphates, sulfates, potasse et chaux.	Potasse, chaux, soufre, phosphore.
Soude, magnésie.	Soude, magnésie.

Le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote, réunis à de faibles quantités de soufre ou de phosphore, sont les éléments dont la nature dispose pour créer cette variété infinie de substances végétales si différentes par leurs propriétés et leurs usages. Il convient d'aborder l'étude de la composition des végétaux par l'examen des principes immédiats qui existent dans les graines; nous retrouverons ces mêmes principes dans les organes des plantes. Prenons le blé en raison de son importance.

COMPOSITION MOYENNE DU BLÉ :

Gluten et fibrine	12,8
Albumine	1,8
Amidon	56,7
Dextrine, gomme	7,2
Matières grasses	1,2
Cellulose	4,7
Phosphates et sels	1,6
Eau	14,0
	100,0

Le grain de blé est un fruit monosperme, ou à une seule graine, dont le péricarpe mince et membraneux est intimement soudé et confondu avec la graine; ce caractère est commun aux fruits de toutes les plantes de la famille des graminées.

Pour obtenir le *gluten* du blé on fait avec la farine de cette graine une pâte assez consistante, et on la soumet à l'action d'un mince filet d'eau en ayant soin de la malaxer continuellement; l'amidon est entraîné par le lavage et il reste dans les mains de l'opérateur une matière élastique grisâtre, possédant une odeur particulière. Cette matière exposée à 200 degrés se gonfle et se boursoufle; à une température plus élevée elle répand l'odeur de matières animales qui brûlent. On obtient ainsi le gluten des chimistes qui n'est qu'un assemblage de différentes matières albuminoïdes. L'*albumine* se trouve dans l'eau de lavage qui a passé sur le gluten; après avoir laissé cette eau s'éclaircir, on la porte à l'ébullition : on voit alors apparaître une substance blanche qui se coagule, possède toutes les propriétés du blanc d'œuf, et présente tous les caractères de l'albumine animale. L'*amidon* se dépose au fond de l'eau qui filtre sur le gluten. On recueille cette substance que l'on égoutte et que l'on fait sécher. La dextrine, qui est soluble, se trouve aussi dans cette eau de lavage; on la précipite en ajoutant de l'alcool au liquide. On sait que la dextrine, $C^{12}H^{9}O^{9},HO$, soumise à l'action des acides ou de la diastase se transforme en glycose, $C^{12}H^{12}O^{12}$, en s'assimilant les éléments de deux molécules d'eau. On obtient les matières grasses en faisant passer de l'éther sur des grains de blé placés dans un tube. La cellulose, $C^{12}H^{10}O^{10}$, se trouve dans le son, et, quant aux phosphates et aux sels, on calcine une certaine quantité de froment et l'on traite les cendres par les procédés connus pour doser ces sels. Pour extraire l'eau, on prend un certain poids connu de froment que l'on met dans une étuve; on pèse de temps en temps, et, quand le poids ne diminue plus, la différence entre la première pesée et la dernière donne la quantité d'eau.

CONSTITUTION CHIMIQUE DES POIS (POIS SECS) :

Amidon, dextrine	59,6
Matières grasses	2,0
Caséum	23,9
Cellulose	3,6
Phosphate de chaux, sels	2,0
Eau	8,9
	100,0

Parmi ces principes chimiques, nous étudierons seulement la matière azotée, qui diffère de celle du froment. M. Braconnot, qui a signalé le premier cette substance, lui a donné le nom de légumine. Il ne faudrait pas malaxer la farine des pois sous un mince filet d'eau : on n'obtiendrait absolument rien. Il faut mettre les semences concassées digérer dans l'eau tiède pendant deux ou trois heures : on les écrase ensuite dans un mortier, et l'on verse sur la pulpe de l'eau fraîche; on laisse macérer pendant une heure et l'on exprime à travers une toile. L'amidon se dépose et la liqueur s'éclaircit; on y ajoute de l'acide acétique qui produit un précipité floconneux très-blanc de légumine qu'on recueille sur un filtre. La légumine est ensuite traitée par l'alcool, puis on la pulvérise, et on la met en digestion dans l'éther afin de la débarrasser de toutes les matières grasses. L'acide acétique en précipitant la légumine donne le lait caillé des pois; c'est d'après ce principe que les Chinois font du fromage avec des

Digitized by Google

pois. L'eau ammoniacale en séjournant sur des pois concassés dissout la légumine; si l'on traite la liqueur par l'acide acétique on a un précipité qui se redissout dans un excès d'acide. L'acide chlorhydrique faible précipite la légumine; à l'état concentré il la dissout en prenant une teinte violette.

Jusqu'à présent nous n'avons opéré que sur des graines; nous allons maintenant examiner le tubercule de la pomme de terre, qui n'est pas une racine mais une tige modifiée par le milieu où elle végète. Cette tige se raccourcit, sépaissit et devient charnue par suite de l'extrême multiplicité des cellules féculifères qui constituent presque toute sa masse. Une tige est caractérisée par des bourgeons produits à l'aisselle de feuilles régulièrement disposées; ces feuilles, dans les branches végétant sous terre, sont extrêmement modifiées dans leur taille, leur forme, leur consistance, leur couleur : ce sont le plus souvent des écailles. La pomme de terre en est un exemple : sa surface est parsemée de petites éminences qu'on appelle des yeux, d'abord cachés à l'aisselle de petites écailles qui tombent plus tard. Ces yeux se développent en branches si le tubercule est placé dans des conditions favorables d'humidité, et verdissent s'il est placé à la lumière. Ce sont des bourgeons normaux, et la pomme de terre est bien une tige. Les jardiniers en buttant la plante, c'est-à-dire en enterrant sa partie inférieure, multiplient le nombre des tubercules par la conversion des bourgeons enterrés en pommes de terre. La pomme de terre est originaire du Chili. D'après M. Claude Gay, elle croîtrait spontanément près Valdivia, à Juan-Fernandez, à Chiloe. A l'état sauvage, elle n'a pas la grosseur que nous lui connaissons et elle est un peu vénéneuse. Les Espagnols la trouvèrent cultivée au Pérou, à Quito, dans la Nouvelle-Grenade; cependant elle était inconnue au Mexique sous le règne de Montezuma. La culture de la pomme de terre s'est développée par la conquête civilisatrice des Incas. Les Incas se croyaient les fils du soleil; c'étaient des hommes blancs, guerriers et civilisateurs. Ils se sont emparés du Mexique, du Pérou, et ils y ont fondé des villes et élevé des temples au soleil qu'ils regardaient comme l'œuvre la plus parfaite de la divinité. Ce peuple faisait usage des métaux précieux; ses momies étaient assises sur des siéges d'or massif, et dans l'un de leurs temples il y avait un soleil d'or et une lune d'argent dont le diamètre était au moins d'un mètre.

Les Incas avaient des connaissances étendues en culture : ils faisaient de la poudrette d'une qualité supérieure à celle que nous employons; ils exploitaient les îles à guano, et connaissaient les effets du nitrate de soude. Leurs travaux d'irrigation étonnèrent les Espagnols. A cette époque on s'occupait peu d'importer les plantes : on prenait de l'or et l'on convertissait au christianisme. C'est un marchand d'esclaves, John Hawkins, qui, en 1545, gratifia l'Irlande de la pomme de terre; de là elle passa en Belgique en 1590. En Angleterre, sa culture date du commencement du XVIIe siècle. C'est en 1710 que la pomme de terre se répandit en Allemagne où elle resta pendant assez longtemps dans les potagers; sa diffusion comme plante agricole fût extrêmement lente. On rapporte qu'un habitant de Versailles en cultivait dans son jardin lorsqu'un régiment, parti de Mayence et se dirigeant vers la Vendée, s'arrêta dans cette ville; les soldats, habitués à ce légume, en volèrent pour leur nourriture; la nouvelle se répandit et l'on ne craignit plus d'être empoisonné. Cependant il fallut encore les famines de 1771 et 1772 pour vaincre les préjugés qui s'opposaient à son adoption.

CONSTITUTION CHIMIQUE DE LA POMME DE TERRE JAUNE :

Amidon	20,2
Albumine	2,5
Matières grasses	0,2
Cellulose	0,4
Phosphate et sels	0,8
Eau	75,0
	100,0

Si l'on râpe une pomme de terre, on déchire les parois de ses cellules et l'on obtient une pulpe qui, placée sur un tamis et lavée par un filet d'eau, abandonne la fécule avec les principes solubles dans l'eau. La cellulose reste sur le tamis. En chauffant le liquide qui a lavé la pulpe on trouve l'albumine; on aurait la dextrine en traitant par l'alcool. Pour extraire les matières grasses, il faut verser de l'éther sur la pulpe, et pour séparer les sels on doit avoir recours à la calcination et aux dosages de ces sels. L'eau, comme l'indique le tableau, est en très-grande proportion dans la pomme de terre. Avant d'étudier l'amidon, constatons qu'il existe aussi en quantité considérable dans certaines racines.

Henri Amaury.

CERCLE AGRICOLE DE PARIS.

CONFÉRENCE DE M. PAYEN
(de l'Institut).

Du soufre. — Ses propriétés. — Son extraction. — Ses usages. — Des solfatares. — Serpents de Pharaon.

Le soufre est très-répandu dans la nature : on l'y trouve tantôt à l'état natif, en Sicile, par exemple, mêlé à une forte proportion de terre; tantôt à l'état de combinaison : sous ce dernier état, il constitue les sulfures et les sulfates. Pour démontrer l'énorme quantité de soufre qui existe à l'état de combinaison dans la nature, il nous suffira de citer deux de ses composés les plus communs : la pyrite ou sulfure de fer et le plâtre ou sulfate de chaux. Mais le soufre ne se trouve pas seulement en combinaison avec les métaux, tous les êtres organisés en renferment des quantités très-notables. Il entre, en effet, dans la composition intime de l'albumine, de la fibrine et de la caséine, matières dont sont formées tous les êtres organisés. Un homme, dont la chair musculaire desséchée pèse en moyenne 11 kilogrammes, renfermerait à peu près 100 grammes de soufre. Ces exemples suffisent pour montrer le rôle important que joue le soufre dans la nature, tant comme agent minéralisateur que comme élément indispensable à la constitution des matières organisées.

Le soufre se rencontre dans presque tous les terrains, aussi bien dans les terrains anciens que dans ceux de formation moderne : il se forme même encore de nos jours dans la nature et presque sous nos yeux. En effet, la décomposition ou, pour mieux dire, la putréfaction des matières azotées animales donne lieu à des dégagements continuels d'acide sulfhydrique facilement reconnaissable à son odeur : c'est celle qu'exhalent les œufs pourris, les choux pourris, etc. Ce gaz se trouvant, dans la terre humide, en contact avec des substances poreuses, subit une décomposition partielle dont le résultat est de donner de l'eau et de l'acide sulfureux. Enfin

Digitized by Google

ce dernier gaz, en présence de l'hydrogène sulfuré non décomposé, régénère le soufre qui se dépose à l'état pulvérulent dans la terre.

A la température ordinaire, le soufre est un corps solide d'un jaune citron, inodore et insipide. Il est très-mauvais conducteur de la chaleur et de l'électricité. L'action de la chaleur sur ce corps présente quelques particularités assez curieuses. Lorsqu'on le chauffe dans un ballon on le voit bientôt fondre vers 110 degrés. La couleur est sensiblement restée la même; elle est seulement un peu foncée : une fois liquéfié, si l'on vient à le laisser refroidir, il a la propriété de cristalliser en longues aiguilles qui ont la forme de prismes obliques à base rhombe ; mais ces cristaux, d'abord brillants et transparents, deviennent bientôt opaques et très-friables, et si on les observe au microscope on les trouve formés de petits octaèdres droits à base rhombe, posés bout à bout, et tout à fait semblables à ceux du soufre cristallisé de la nature. On peut, du reste, l'obtenir directement sous cette forme en laissant évaporer sa dissolution dans le sulfure de carbone. Le soufre est donc dimorphe.

Si au lieu de laisser refroidir le soufre liquide, on continue d'élever sa température, sa couleur devient d'abord de plus en plus foncée. Vers 160 à 170 degrés, il commence à perdre de sa fluidité ; il s'épaissit et finit par acquérir un tel degré de viscosité que vers 230 degrés on peut, sans craindre qu'il s'écoule, renverser le matras qui le renferme. A ce moment sa couleur est d'un rouge très-foncé. Mais continue-t-on à élever la température, le soufre redevient liquide en conservant sa couleur rouge ; enfin, il entre en ébullition vers 448 degrés, se volatilise en produisant une vapeur incolore. Un phénomène très-remarquable se manifeste quand on refroidit brusquement le soufre après l'avoir porté à 230 ou 240 degrés. Il donne alors une substance molle et élastique, analogue au caoutchouc; mais il ne conserve ces propriétés que quelques jours et revient lentement de lui-même à son état primitif.

Dans ces diverses modifications que lui a fait subir la chaleur, le soufre n'a perdu aucune de ses propriétés chimiques; il a seulement changé d'état physique. En d'autres termes, ces modifications ne sont que des états allotropiques différents, le soufre étant un corps simple.

La majeure partie du soufre nous vient de Sicile, où on exploite son minerai sur une grande échelle. Autrefois tout le soufre employé en France nous venait de ce pays; mais, vers 1836, le prix en ayant considérablement augmenté, nos fabricants d'acide sulfurique imaginèrent d'employer la pyrite de fer pour la préparation de cet acide. C'est surtout dans les fabriques du midi de la France, et dans les environs de Lyon, qu'on a eu recours à cet expédient. Mais, comme le grillage de la pyrite en fournissant de l'acide sulfureux donne aussi une grande quantité d'azote, il en résulte que ce gaz, ainsi introduit dans les chambres de plomb, y entrave beaucoup la réaction de l'acide sulfureux sur les vapeurs nitreuses ; aussi les fabricants préféreraient-ils le soufre, si le prix de ce dernier venait à diminuer. Nous allons voir par quel moyen on espère prochainement y arriver.

On prépare le soufre en Sicile par les moyens les plus grossiers. L'extraction elle-même du minerai a besoin d'être améliorée. En effet, jusqu'à ce jour, on n'a encore employé aucun moyen mécanique pour retirer le minerai de la mine. L'ouvrier l'extrait simplement à coup de pioche, et il est ensuite enlevé dans des paniers remontés par des enfants. On se propose actuellement de construire des puits verticaux et de sortir le minerai au moyen de poulies, ce qui abrégera beaucoup la besogne et la rendra surtout bien moins dispendieuse.

Le minerai exploité en Sicile contient de 30 à 60 pour 100 de soufre. Si le minerai est moins riche, on le néglige ; et cela se comprend, les procédés employés jusqu'à ce jour ne donnant en soufre que la moitié de ce que renferme le minerai. On se contentait, en effet, de le renfermer dans des vases de terre ou de grès. On enflammait le minerai : une partie du soufre donnait de l'acide sulfureux, et la chaleur produite par cette combustion servait à volatiliser le reste. Or, comme le soufre a un pouvoir calorifique qui est environ le quart de celui du charbon, une grande partie de ce corps était perdue inutilement. Dans ces derniers temps, on avait imaginé de mettre le minerai en gros tas et de le recouvrir de terre de façon à construire des meules analogues à celles dans lesquelles on prépare le charbon de bois. On enflammait encore le minerai et la chaleur produite servait à isoler une partie du soufre. L'extraction du soufre exigeait un mois pour chacune de ces meules.

Comme il facile de le voir, ces procédés étaient encore très-grossiers, et cependant la consommation allait toujours en augmentant. En effet, la Sicile fournit annuellement près de 208 millions de kilogrammes de soufre. Chez nous, la consommation en augmente chaque année ; cela se comprend d'autant plus facilement que l'acide sulfurique sert à la préparation de tous les acides, et, on peut le dire aussi, de tous les alcalis. On employait en France environ 6 millions de kilogrammes de soufre en 1820. Aujourd'hui, nous en consommons 60 millions. L'Angleterre en emploie 86 millions. Mais nul doute que nous n'atteignions bientôt ce chiffre, grâce aux développements continuels de notre industrie.

Un chimiste, M. Pierre Thomas, vient d'imaginer un nouveau procédé pour extraire la totalité du soufre contenu dans le minerai : c'est au moyen de la vapeur d'eau surchauffée qu'il arrive à ce résultat. Ce procédé a déjà été expérimenté sur des minerais français, renfermant tout au plus 20 pour 100 de soufre, et il a donné les meilleurs résultats; on a pu retirer la presque totalité du soufre. Voici, en quelques mots, la description de l'appareil dont se sert M. Pierre Thomas. Il prend un grand cylindre de fonte placé horizontalement, mais légèrement incliné d'un côté. Ce cylindre peut être fermé hermétiquement à ses deux extrémités. Il y introduit de petits chariots à claires-voies pleins de minerai. Quand le cylindre en est rempli, on fait arriver de la vapeur d'eau surchauffée à 4 atmosphères, ce qui donne une température d'environ 130 degrés. A cette température le soufre fond, se sépare de la gangue terreuse à laquelle il était mélangé et vient s'écouler dans la partie la plus basse du cylindre. L'opération dure une heure. De cette façon il a obtenu la totalité du soufre contenu dans le minerai, et, bien plus, ce soufre est plus pur que celui qu'on obtient de premier jet par les anciens procédés. Il faut espérer que cette méthode sera bientôt mise partout en pratique. Du reste, une compagnie qui s'est déjà organisée espère par ce moyen fournir le soufre à 12 francs, au lieu d'une trentaine de francs qu'il vaut actuellement.

Les applications du soufre sont très-nombreuses. Autrefois, il ne servait guère qu'à la fabrication de la poudre et à celle des allumettes; mais maintenant, sans parler de la préparation de l'acide sulfurique que nous avons déjà mentionnée,

Digitized by Google

il sert à la préparation de l'outremer artificiel. Dans ces dernières années on en a consommé des quantités considérables pour le traitement de l'oïdium de la vigne. On le fait servir à la vulcanisation du caoutchouc, auquel il donne des propriétés si avantageuses et si bien utilisées dans l'industrie. On le substitue, enfin, au plomb pour le scellement du fer dans les pierres, toutes les fois que ces pierres peuvent renfermer un peu d'eau dans leurs interstices.

Tels sont les principaux usages du soufre. En terminant, je dirai quelques mots des serpents de Pharaon, invention toute nouvelle qui, je crois, pourra vous intéresser. Il y a une dizaine d'années, Wöhler avait remarqué que le sulfocyanure de mercure laissait en brûlant un résidu qui occupait un volume environ cent fois plus grand que celui du sel employé; mais il n'avait imaginé de tirer aucun parti de cette curieuse observation. Or, les serpents de Pharaon sont formés de sulfocyanure de mercure mêlé a du nitrate de potasse.

Quelques personnes avaient émis l'opinion que les vapeurs mercurielles dégagées par cette composition pouvaient en brûlant devenir délétères. Mais on s'est beaucoup exagéré le danger, à moins qu'on en fasse brûler trois ou quatre dans une petite chambre dont toutes les issues seraient fermées. Je crois donc qu'on peut être sans crainte à cet égard.

Enfin, il me reste à combattre une dernière critique : c'est que ces serpents avant d'être brûlés pourraient, par leur couleur blanche, induire des enfants en erreur, et donner lieu à des empoisonnements, ils les mangeaient en guise de bonbons. Mais il est très-facile, ce me semble, de remédier à cet inconvénient, en les enduisant de noir de fumée. Personne alors ne pourrait plus s'y méprendre.

ARMAND DESCAMPS, pharmacien.

BULLETIN DES COURS.

Muséum d'histoire naturelle de Paris.

PROGRAMME DES COURS POUR L'ANNÉE 1866.

PHYSIQUE APPLIQUÉE A L'HISTOIRE NATURELLE. — M. BECQUEREL (de l'Institut, professeur, traitera : 1° Du dégagement de l'électricité en général; 2° de la thermométrie et de la psychrométrie électriques et de leurs applications à l'étude des phénomènes naturels; 3° de l'électrochimie et de la reproduction des substances minérales crisallisées; 4° de l'électricité atmosphérique et des orages; 5° de l'action physiologique de l'électricité; 6° du magnétisme terrestre. Ce Cours commencera en novembre. Il aura lieu les lundis et vendredis à 11 heures un quart.

CHIMIE APPLIQUÉE AUX CORPS INORGANIQUES. — M. FREMY (de l'Institut), professeur : développera cette année les théories chimiques qui sont particulièrement applicables aux recherches du laboratoire. Ce Cours commencera en avril. Il aura lieu les mardis, jeudis et samedis, à deux heures.

MINÉRALOGIE. — M. DELAFOSSE (de l'Institut), professeur, après avoir exposé les propriétés générales des minéraux et les principes qui servent de base à leur classification, traitera plus spécialement cette année des métaux et des combustibles non métalliques. Ce Cours commencera en avril. Il aura lieu les lundis, mercredis et vendredis, à onze heures.

GÉOLOGIE. — M. DAUBRÉE (de l'Institut), professeur, étudiera le mode de formation des terrains stratifiés, surtout au point de vue de l'origine des substances qui les composent. Ce Cours commencera en avril. Il aura lieu les mercredis et vendredis, à trois heures un quart.

PALÉONTOLOGIE. — M. D'ARCHIAC (de l'Institut), professeur, exposera, dans la première partie du Cours, les caractères et la distribution des faunes et des flores secondaires, et particulièrement celles de la période crétacée. Ce Cours commencera en mars. Il aura lieu les mercredis et vendredis à midi et demi.

BOTANIQUE. — M. AD. BRONGNIART (de l'Institut), professeur, traitera de l'organographie, de l'anatomie et de la physiologie végétales. Ce Cours commencera dans le mois d'avril. Il aura lieu les lundis, mercredis et vendredis, à neuf heures et demie.

CULTURE. — M. DECAISNE (de l'Institut), professeur, fera l'histoire des végétaux cultivés ou seulement exploités dans les différentes régions du globe, comme plantes commerciales ou industrielles. Ce Cours commencera en avril. Il aura lieu les mardis, jeudis et samedis, à huit heures et demie du matin.

PHYSIQUE VÉGÉTALE. — M. G. VILLE, professeur, traitera de la composition des végétaux, et du rôle de l'atmosphère dans leur nutrition. Ce Cours commencera en février. Il aura lieu les mardi, jeudi et samedi de chaque semaine.

ANTHROPOLOGIE. — M. DE QUATREFAGES (de l'Institut), professeur, fera cette année l'histoire des races noires et jaunes. Les leçons auront lieu les mardis, jeudis et samedis, à trois heures un quart.

ANATOMIE COMPARÉE. — M. SERRES (de l'Institut), professeur, exposera l'anatomie générale comparée des appareils de nutrition et de relation de l'homme et des animaux. Il traitera des principes de l'organogénie et de l'embryogénie comparées, et en fera l'application à la zoologie et à la tératologie. Ce cours commencera en octobre. Il aura lieu les mardis, jeudis et samedis, à une heure et demie.

PHYSIOLOGIE COMPARÉE. — M. FLOURENS (de l'Institut), professeur, traitera cette année de la physiologie comparée de la digestion. Ce cours commencera dans le mois de juin. Il aura lieu les mardis et samedis, à onze heures et demie.

HISTOIRE NATURELLE DES MAMMIFÈRES ET DES OISEAUX. — M. MILNE EDWARDS (de l'Institut), professeur, traitera de l'histoire particulière des mammifères et des oiseaux. Ce cours commencera en mai. Il aura lieu les mardis, jeudis et samedis, à une heure.

HISTOIRE NATURELLE DES REPTILES ET DES POISSONS. — M. A. DUMÉRIL, professeur. — L'histoire générale des reptiles, des batraciens et des poissons, sera le sujet du cours de cette année. Ce cours commencera en octobre. Il aura lieu les mardis, jeudis et samedis, à midi.

HISTOIRE NATURELLE DES CRUSTACÉS, DES ARACHNIDES ET DES INSECTES. — M. ÉMILE BLANCHARD (de l'Institut), professeur, traitera spécialement des adaptations des organes aux conditions d'existence chez les insectes, les arachnides et les crustacés. Ce cours commencera en mars. Il aura lieu les lundis, mercredis et vendredis, à une heure.

HISTOIRE NATURELLE DES ANNÉLIDES, DES MOLLUSQUES ET DES ZOOPHYTES. — M. LACAZE-DUTHIERS, professeur, a commencé ce cours le lundi 29 janvier 1866, à deux heures, dans les galeries du Muséum. L'étude des échinodermes et des helminthes, ou vers parasites, fera l'objet des leçons de cette année. Le professeur exposera les principes de la classification des types les plus importants de ces deux groupes et les découvertes modernes relatives aux mœurs, aux métamorphoses, aux migrations et à l'embryogénie des principales espèces. Il s'attachera à montrer l'utilité et les applications des connaissances zoologiques dans l'étude des lésions et des maladies causées chez l'homme et les animaux domestiques par le développement des vers parasites. Les leçons ont lieu les lundis et vendredis, à deux heures. Lorsque la démonstration des caractères propres à faire reconnaître les espèces nuisibles ou l'exposition de détails spéciaux seront nécessaires, des leçons supplémentaires, toujours annoncées à l'avance par le professeur, auront lieu le mercredi.

CHIMIE APPLIQUÉE AUX CORPS ORGANIQUES. — M. CHEVREUL (de l'Institut), professeur, traitera cette année de la première partie du cours de chimie appliquée aux corps organiques. Il examinera la constitution des végétaux et des animaux au point de vue de la nature des principes immédiats qui les constituent. Ce cours s'ouvrira en mai. Il aura lieu les mardis, jeudis et samedis, à neuf heures trois quarts du matin, dans le grand amphithéâtre.

COURS DE DESSIN APPLIQUÉ A L'HISTOIRE NATURELLE. — M. LESOURD-BEAUREGARD, pour les plantes; M. BARYE, pour les animaux. Ces cours commenceront dans les mois d'avril et de mai.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE NUMÉRO 12 17 FÉVRIER 1866

CONFÉRENCES SCIENTIFIQUES DE TURIN.

M. C. MATTEUCCI
(sénateur et ancien ministre du royaume d'Italie).

Théorie dynamique de la chaleur. — Équivalent mécanique.

Messieurs,

Je me propose de vous exposer et de vous faire comprendre le principe général dont la physique moderne se sert pour déterminer les relations qui existent entre la chaleur, l'électricité, la lumière, l'affinité chimique, etc., en les ramenant à des effets qui leur sont mécaniquement équivalents, principe qui nous sert à expliquer tous les phénomènes naturels et artificiels dans lesquels il y a développement de chaleur, d'électricité, de force vive, sous l'influence de la gravité ou des forces chimiques et moléculaires. Faire cette exposition sans recourir aux formules de la mécanique et sans sacrifier la clarté et la rigueur nécessaires à ce genre de connaissances me paraît chose tellement ardue, que je n'oserai la tenter sans vous donner d'abord un aperçu des lois physiques générales auxquelles nous aurons besoin de recourir à chaque instant.

La théorie dynamique de la chaleur, permettez-moi de vous le répéter, est certainement la plus grande découverte qui se soit faite dans la philosophie naturelle depuis Newton. Il ne faut pas, en effet, vous contenter de vous rappeler qu'elle nous a appris, chose très-importante à elle seule, ce que c'est que la chaleur, c'est-à-dire qu'elle est le premier élément de toute vie; il ne suffit pas d'ajouter que grâce à cette découverte nous connaissons la valeur mécanique de la chaleur, sa transformation en travail et la transformation inverse; cette découverte fait plus encore, elle embrasse, elle explique et mesure mécaniquement les relations qui existent entre les grandes forces de la nature, et rend compte de tous les phénomènes naturels dans lesquels se manifestent et se transforment les différentes forces.

Quand il s'agit de découvertes aussi fondamentales, nous éprouvons tout d'abord le désir d'en connaître l'auteur (1), malheureusement c'est dans ces cas qu'il devient le plus difficile de satisfaire avec une certaine exactitude notre curiosité, et vous allez facilement comprendre pourquoi. Ces grandes inventions sont rarement le résultat des efforts d'une seule intelligence. Il y a toujours des hommes de génie qui jettent quelques lueurs sur la question avant que ne vienne l'homme qui fait véritablement la découverte, et souvent, ainsi que le disait Newton, l'inventeur est obligé de passer toute sa vie à défendre et à soutenir sa découverte; il s'ensuit que ce n'est jamais où à peu près jamais l'inventeur qui développe sa découverte et en fait les applications. C'est là ce qui se présente dans la découverte de la théorie dynamique de la chaleur, avec cette différence que lorsque de nos jours on découvre un fait fondamental quelconque, une foule de savants se mettent à l'étudier pour en tirer toutes les conséquences. Aussi de nos jours l'édifice d'une découverte se construit beaucoup plus rapidement qu'autrefois.

Carnot, ce célèbre géomètre, ministre de la guerre pendant la révolution de 1789, pendant le Consulat et pendant les Cent-Jours, est peut-être l'homme qui a donné la première idée de la théorie dynamique de la chaleur, à l'époque même où lui-même n'apercevait que très-imparfaitement le principe général qui en est sorti plus tard. Dans un mémoire sur les machines à feu, Carnot démontre l'impossibilité du mouvement perpétuel et cherche dans la dilatation de la vapeur d'eau qui part de la chaudière pour aller se condenser dans le condensateur l'origine de la puissance de cette machine, comparant ainsi la chaleur à un corps qui tombe d'une certaine hauteur.

Une de ces véritables lueurs de génie échappa, il y a une trentaine d'années, au célèbre ingénieur qui a inventé les voies ferrées et les locomotives, à George Stephenson. Les Anglais racontent toujours avec orgueil la conversation que ce vénérable vieillard eut un jour avec le géologue Buckland, dans un parc de sir Robert Peel, à l'approche d'une locomotive qui traversait le parc. « Stephenson demandait quelle pouvait bien être la puissance qui traîne cette masse avec une si grande rapidité. Buckland répondait en souriant: c'est votre locomotive. — Mais quelle est la cause qui produit la puissance de la locomotive, répliqua Stephenson. Alors Buckland répondit: c'est la chaleur du charbon de Newcastle qui brûle sur la grille de la chaudière. — Mais, répliqua de nouveau Stephenson, il faudrait trouver d'où le charbon tire cette propriété. Pour moi, ajouta-t-il, je suis sûr que c'est la force du soleil, c'est-à-dire la chaleur et la lumière de ses rayons qui se fixent dans le carbone produit lorsque les végétaux respirent sous l'influence de la lumière, et qui sont restituées pendant la combustion du charbon. » Cette proposition, qui pouvait à peine se comprendre alors, est maintenant une vérité mécanique. En réalité les véritables auteurs de cette découverte sont: un médecin allemand, le docteur Mayer, qui le premier expliqua en quoi consiste le frottement, et plus en-

(1) La *Revue des cours scientifiques* publiera prochainement une leçon de M. Bohn, dans laquelle on trouvera tous les détails relatifs à cette intéressante question qui a soulevé tant de controverses entre les physiciens anglais.

Digitized by Google

core le docteur Joule de Manchester, qui a passé plus de vingt ans à déterminer l'équivalent mécanique de la chaleur par les procédés les plus divers, et qui le premier a vu les applications de la théorie dynamique de la chaleur aux moteurs électro-magnétiques et à la physiologie animale.

Je pourrais, comme cela se fait dans les livres, suivre deux marches pour vous exposer la théorie dynamique de la chaleur. Si je me trouvais dans une école d'ingénieurs, je commencerais par expliquer les formules de l'équilibre et du mouvement des machines, et nous arriverions ainsi à voir que la mécanique, sans commettre une véritable erreur, n'en laisse pas moins de côté, dans ses applications, un quelque chose qu'elle n'explique pas et qu'elle désigne par les mots de frottement et de résistance passive. Nous suivrons, au contraire, une marche tout à fait expérimentale. Néanmoins je vous donnerai d'abord quelques définitions et quelques notions très-brèves de mécanique, qui nous serviront d'introduction.

Quel que soit le moteur que nous choisissions, quelle que soit la machine dont nous nous servions, nous devons toujours y voir deux choses : une force, une puissance qui agit sur certaines parties de la machine, et qui, en se transmettant à une autre force que nous appelons résistance, finit par la mettre et la maintenir en mouvement. Quand je soulève un corps pesant et que je le porte à une certaine hauteur, je fais un certain effort, je consume une certaine quantité d'énergie musculaire, et je crée un pouvoir moteur qui, par la chute de ce grave, est restitué sous une autre forme. Nécessairement cette force devra être double si le poids que je veux soulever est double ou si la hauteur à laquelle je le soulève est double. Quelle que soit la machine que j'emploierai pour faire ce travail, ce travail sera toujours représenté par deux éléments, le poids et la hauteur. Pour représenter, comme cela se fait en mécanique, les forces qui mettent la machine en mouvement, c'est-à-dire les puissances motrices et les résistances vaincues, on procède de la même manière, c'est-à-dire on détermine la quantité de travail mécanique qui leur est équivalent. Et puisque les hauteurs auxquelles nous faisons travailler nos machines sur la surface de la terre sont toujours assez petites pour que nous puissions les regarder comme constantes, le produit de 1 kilogramme par 1 mètre de hauteur est une unité constante de pouvoir moteur. Cette unité, comme sans doute vous le savez tous, est exprimée par le poids de 1 kilogramme multiplié par 1 mètre de hauteur, et comme mesure d'une force motrice elle peut être considérée indépendamment du temps. Quand nous disons qu'une chute d'eau est exprimée et évaluée à tant ou tant de *kilogrammètres*, nous entendons dire par là que cette chute peut être représentée par le nombre de kilogrammes d'eau qui la composent et sa hauteur exprimée en mètres. Quant à la force motrice continue appliquée à une machine, si vous voulez connaître son travail total il faudra ajouter la notion du temps, et dans ce cas le nombre de kilogrammètres est pris pour une certaine unité de temps convenue.

En partant de ces principes, nous allons apprendre à évaluer la quantité de travail que peut faire un moteur quelconque. Sous le nom de moteur, nous comprenons une chute d'eau, le vent, la force animale, l'électricité dynamique, la machine à vapeur, etc., et par travail mécanique produit par ces moteurs nous pouvons entendre, soit un poids soulevé, soit un piston mis en mouvement, soit le frottement de deux meules l'une sur l'autre. Dans tous ces cas, il ne faut jamais l'oublier, on doit toujours entendre par quantité de travail ou par travail dynamique, non-seulement l'intensité de la force elle-même, par exemple le nombre de kilogrammes quand il s'agit de poids, mais aussi la vitesse communiquée à ce poids, l'espace qu'il parcourt. Un cheval qui tire une voiture ne travaille, *ne se paye* que lorsqu'il la met en mouvement. En un mot, les deux idées contenues dans l'unité de travail dynamique sont la mesure d'une force motrice.

Je passe à une autre définition. On appelle *calorie* ou unité de chaleur la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température de 1 kilogramme d'eau distillée d'un degré centigrade, par exemple de 10 à 11 degrés ou de 20 à 21 degrés. Puisque la chaleur ne se pèse pas, il faut nous entendre sur cette définition. En mêlant rapidement 2 kilogrammes d'eau, l'un à 10 degrés, l'autre à 12 degrés, le mélange, comme je vous l'ai déjà fait voir, prend une température moyenne de 11 degrés. Dire que le premier kilogramme a gagné 1 degré ou que le second en a perdu un, cela revient exactement au même, c'est-à-dire que la quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un degré une masse d'eau donnée est la même que celle que doit perdre la même masse d'eau pour se refroidir d'un degré.

Il me reste à vous donner une dernière définition, la plus difficile lorsqu'on ne peut appeler une formule à son aide. C'est celle du pouvoir moteur pris en quelque sorte sous la forme de vitesse, comme dans le cas d'une balle qui sort du fusil et qui se meut avec une si grande vitesse. Rappelez-vous qu'un corps grave parcourt pendant la première seconde de sa chute environ 5 mètres, et qu'à la fin de cette chute il est animé d'une vitesse telle que si la pesanteur cessait d'agir sur lui il continuerait à parcourir d'un mouvement uniforme un espace double par seconde de temps. Rappelez-vous aussi que la gravité est une force continue, ce qui fait que les vitesses croissent avec les temps, et que les espaces parcourus par un corps qui tombe sont proportionnels aux carrés des temps. Ainsi après deux secondes de chute, un corps grave a acquis une vitesse double et a parcouru un espace quadruple de celui de la première seconde; après trois secondes il a de même une vitesse triple et a parcouru un espace neuf fois plus grand que le premier. Si donc vous lancez un corps pesant contre l'action de la gravité, ce corps ne retombera que quand la vitesse dont vous l'avez animé sera complétement éteinte; si pour une vitesse donnée il s'élève à une hauteur de 1 mètre, pour une vitesse double il s'élèvera à une hauteur de 4 mètres, pour une vitesse triple à une hauteur de 9 mètres, etc. C'est de là que vient la notion mécanique appelée *force vive*, qui sert à mesurer la force en la prenant proportionnellement au carré de la vitesse. Une balle de fusil lancée contre le blindage d'un navire cuirassé agit comme force vive, et lorsque sa vitesse est éteinte sa puissance est rendue nulle. Cela vous explique les efforts qu'Armstrong et les officiers d'artillerie font continuellement pour réussir à communiquer des vitesses de plus en plus grandes aux projectiles, car les effets des projectiles contre les résistances croissent comme les carrés des vitesses.

Grâce à ces définitions, je me sens un peu plus de courage à vous initier à la théorie dynamique de la chaleur en partant des lois des machines en mouvement. Je choisis la plus simple de ces machines, le levier. Lorsqu'on considère le levier en mouvement on voit disparaître cette espèce de préjugé

Digitized by Google

qui n'a entraîné que trop d'esprits, peu accoutumés à la mécanique, à se croire les inventeurs du mouvement perpétuel ou plutôt d'un moteur gratuit et continu. Lorsque le levier est en mouvement, il est vrai de dire qu'un poids très-petit peut faire équilibre à un poids beaucoup plus grand, propriété qu'on utilise dans une foule de cas. Il suffit pour cela que les bras de levier soient inégaux et que leurs longueurs soient en raison inverse des poids qui doivent s'équilibrer. Il faut de plus que le poids le moins lourd soit attaché au bras le plus long et *vice versâ;* le point d'appui doit évidemment résister à la somme des poids suspendus aux deux bras et au poids du levier lui-même. Mettez le levier en mouvement et immédiatement cette espèce de prodige disparaît. Puisque le véritable travail d'une machine est le produit de la force ou de son intensité par l'espace parcouru, vous verrez de suite que le petit poids, qui est la puissance, parcourt un espace plus grand que le poids le plus lourd, et les espaces ainsi parcourus seront en raison inverse de ces poids. Archimède avait certainement théoriquement raison quand il disait qu'avec un levier il voulait soulever la terre ; mais il ne pensait peut-être pas que le point d'appui de son levier aurait dû résister à tout le poids de la terre, et qu'en donnant au bras le plus long une vitesse de 50 mètres par minute, la terre ne se serait élevée que d'un millimètre dans vingt quadrillons d'années.

Il y a dans ces propriétés du levier en mouvement un principe général, que Lagrange attribue à Galilée et sur lequel Lagrange a fondé toute la mécanique; c'est le principe de la *vitesse virtuelle*, qui, exprimé sans le secours d'une formule, signifie que dans une machine quelconque, ce qui se gagne en force se perd en vitesse, et *vice versâ*, comme vous le voyez pour les deux bras du levier. En un mot, il n'existerait plus ni mécanique ni physique, ni aucun principe de philosophie naturelle si le travail dynamique d'une force n'était pas une quantité invariable et définie; si une force dans son action sur une machine pouvait produire, théoriquement parlant, un travail dynamique plus grand ou plus petit que celui qui constitue la mesure de la force indépendamment de la machine dans laquelle elle travaille. Supposons que nous ayons à notre disposition une chute d'eau mesurée par un certain nombre de kilogrammes d'eau et de mètres de hauteur; faisons-la agir sur une roue hydraulique destinée à élever un marteau pour piler le riz. Il est mathématiquement impossible que cette chute d'eau produise, en élevant le marteau, un travail mécanique exprimé en kilogrammètres plus grand que celui qui mesure la force de la chute. Il n'y a pas d'expérience de ce genre plus éloquente que celle du pendule. Je soulève le pendule d'un côté, je consume une certaine quantité de travail pour l'élever et le poids élevé contient en lui une certaine énergie; le pendule en tombant la restitue sous forme de vitesse, et par cette chute il devient capable de s'élever du côté opposé, en dépensant la même quantité de travail. Le pendule se ralentit parce que les frottements et la résistance de l'air l'empêchent de remonter chaque fois à la hauteur dont il est descendu. Si dans le cas de la chute d'eau nous voyons la machine continuer à travailler, c'est parce que la chute est continue, c'est parce que la puissance motrice se renouvelle constamment ; s'il n'en était pas ainsi, la machine s'arrêterait dès qu'elle aurait produit une quantité de travail résistant égale à la quantité de travail moteur consumé pendant un temps déterminé. C'est en cela que consiste l'impossibilité du mouvement perpétuel : une machine ne continue à travailler que si une nouvelle puissance motrice s'ajoute continuellement pour vaincre et faire mouvoir la résistance. Le mouvement perpétuel est une impossibilité absolue, parce que ce serait de rien créer un travail. Et si nous voyons les planètes et la terre continuer à se mouvoir, c'est parce qu'elles ne rencontrent pas de résistance et qu'elles tournent toujours dans la même orbite, avec les vitesses mêmes dont elles ont été animées dans le principe; si nous pouvions ajouter à une planète une quantité de matière très-petite et non soumise à l'attraction, ou faire en sorte qu'elle se meuve dans un milieu résistant, le mouvement de la planète ne tarderait pas à se ralentir.

En général, dans le cas d'une machine réduite au mouvement uniforme comme dans le cas d'une machine à mouvement périodique, c'est-à-dire alternativement accéléré et retardé; dans tout phénomène naturel dans lequel entrent en jeu des actions attractives et répulsives, la mécanique démontre que quand deux corps quelconques, soumis à ces forces, produisent un certain travail soit en se rapprochant soit en s'éloignant, ils consomment pendant le même temps une quantité équivalente de travail dynamique, et *vice versâ*. On démontre en mécanique qu'il y a équivalence entre les quantités de travail et de force vive qui sont entre elles dans le rapport de un à deux.

Dans ces mouvements produits par les actions réciproques des corps, la somme des forces vives est constante et égale à celle qui existe au commencement; c'est ce qu'on appelle en mécanique *conservation des forces vives*.

Je choisis l'exemple ordinaire, celui de la gravité, pour éclaircir ces idées. Un corps grave porté à une certaine hauteur a absorbé, pour ainsi dire, une quantité de travail, celle qui est nécessaire pour le porter à cette hauteur. Mais lorsqu'il est tombé sur le sol en perdant toute la vitesse dont il était animé, cette quantité de travail s'est détruite, et il faut effectivement faire un nouvel effort pour le reporter à la place d'où il est tombé. Mais qu'est donc devenue cette quantité de travail? La mécanique répond : la force vive s'est perdue pendant le choc du corps sur le sol. Cette perte dont la mécanique n'a jamais tenu compte se vérifie dans toutes les machines. Il n'y a pas au monde une seule machine qui produise un travail utile égale à son travail théorique, ou en d'autres termes, qui restitue la quantité de travail qui est la mesure de son énergie motrice. Retournons à la chute d'eau qui agit sur une roue hydraulique, et dont nous pouvons exprimer exactement la force en kilogrammètres. La meilleure roue hydraulique du monde, la turbine nous rendra seulement 70 à 80 pour 100 du travail moteur, parce que l'eau qui sort de la roue possède encore une certaine vitesse, parce qu'il y a frottement sur tous les organes, parce que l'air est résistant. En somme, dans une machine quelconque, la quantité de travail moteur n'est jamais rendue complétement par la quantité de travail de la résistance. En mécanique on a coutume d'expliquer cette différence en disant qu'elle est due à des résistances passives, des frottements, des chocs. Vous voyez tous les jours des trains en mouvement, c'est-à-dire une quantité énorme de force vive, représentée par le poids des wagons et de la locomotive et par le carré de la vitesse du train. Tout d'un coup, lorsqu'on serre les freins, le train s'arrête; où s'en est allée toute cette force vive? Voilà la question que la théorie dynamique de la cha-

Digitized by Google

leur est venue résoudre; et je puis maintenant commencer la démonstration expérimentale de cette théorie.

Je ne m'arrêterai pas à vous répéter ce que vous savez tous et ce que vous voyez tous les jours, l'échauffement de deux corps qu'on frotte l'un contre l'autre. Je crois aussi inutile de vous répéter la belle expérience de Davy, celle des deux disques de glace qui, maintenus à une température inférieure à 0 degré, fondent lorsqu'on les frotte l'un contre l'autre. Cette fusion est due évidemment à la chaleur développée par le frottement, ce qui signifie que le travail consumé par le frottement est en réalité transformé en chaleur. Lorsque je fixe dans un étau une lame d'acier et que je la frotte avec un archet, je la vois vibrer; à mesure que je la raccourcis les vibrations deviennent plus rapides et le son rendu devient plus aigu. Finalement, quand elle est très-courte, il faut développer un grand effort pour la faire vibrer, les vibrations deviennent de plus en plus rapides et la lame s'échauffe. La chaleur n'est donc pas une matière, mais un état de mouvement de la matière elle-même (1).

Je pourrais vous montrer un grand nombre d'expériences qui conduisent à la même conséquence, mais je me bornerai aux principales. Avant tout je vais vous faire voir la pile thermo-électrique inventée par notre Nobili et qui, combinée avec le galvanomètre, forme le plus sensible des appareils thermoscopiques, celui qui a servi aux grandes découvertes de Melloni. Cette pile consiste, comme vous le voyez, en un certain nombre de petits barreaux de bismuth et d'antimoine très-minces, soudés par leurs bouts et formant une espèce de zigzag, dont les deux extrémités libres sont l'un de bismuth, l'autre d'antimoine. De cette manière toutes les soudures impaires 1, 3, 5, etc., sont tournées du même côté, et toutes les soudures paires de l'autre. Ainsi une pile thermo-électrique, qui n'est qu'un assemblage d'un certain nombre de couples thermo-électriques réunis dans le même ordre, forme une espèce de prisme ou de cylindre ayant pour bases, d'un côté toutes les soudures impaires, de l'autre toutes les soudures paires. Les extrémités libres de la pile s'unissent aux deux extrémités du fil du galvanomètre et, comme vous le savez sans doute, on peut facilement répéter avec cet instrument l'expérience fondamentale de Seebeck, et faire voir que l'échauffement de chacun de ces couples produit un courant électrique : si nous échauffons tout d'un coup toutes les soudures impaires, nous voyons la déviation de l'aiguille croître toujours dans le même sens; si nous échauffons ensuite les soudures paires, l'aiguille déviera de nouveau, mais en sens opposé. On arme ordinairement les deux bases de la pile thermo-électrique d'un miroir conique pour recueillir une plus grande quantité de rayons caloririques; on couvre de plus les bases de la pile de noir de fumée, pour augmenter leur pouvoir absorbant pour la chaleur. L'appareil acquiert ainsi une grande sensibilité, et vous voyez, en effet, qu'en couvrant l'un des miroirs et en laissant tomber sur l'autre les rayons calorifiques de l'amphithéâtre, l'aiguille du galvanomètre subit instantanément une très-grande déviation.

Avec cet appareil, il est très-facile de constater qu'un corps quelconque légèrement frotté, comprimé ou frappé subit immédiatement une élévation de température. Mettons l'une des faces de la pile en contact avec deux corps, sur lesquels nous allons opérer et que nous avons maintenus à une température assez basse pour que le galvanomètre indique une très-petite déviation en sens opposé de celle que produit un corps échauffé. Frottons maintenant légèrement les deux corps l'un contre l'autre, et mettons-les subitement en contact avec la pile; vous voyez immédiatement se produire une forte déviation qui indique un échauffement. La même chose arrive lorsqu'on aplatit une balle de plomb ou qu'on la laisse tomber d'une certaine hauteur sur une pierre. Je pourrais vous faire cette expérience et une foule d'autres de ce genre, mais je préfère emprunter à la physique une preuve directe de l'état de mouvement qui constitue la chaleur (1).

Parmi les phénomènes optiques il y en a un qui, s'il n'est pas le premier par la beauté est sûrement le premier par son importance théorique, je veux parler de la *diffraction*. Je regrette de ne pas pouvoir vous la montrer, mais j'essayerai de vous la décrire. Si dans une chambre obscure on fait tomber sur un diaphragme un faisceau lumineux introduit dans la chambre par une fente extrêmement étroite, on voit que la fente n'est pas uniformément illuminée, que çà et là il n'y a pas obscurité complète et qu'en dehors et en dedans de l'image de la fente se trouvent des franges ou des bandes alternativement obscures et lumineuses, qui vont toujours en diminuant d'intensité. Si ce faisceau est de la lumière solaire et par conséquent de la lumière composée, ces franges ont diverses couleurs; si au contraire, on se sert de lumière simple, elles sont alternativement colorées et obscures. Ces franges se produisent mieux et en plus grand nombre si on tend un fil très-fin dans la fente. Le père Grimaldi de Bologne fit, en 1665, une expérience de diffraction qui eut plus tard, entre les mains du docteur Young et de Fresnel, les conséquences les plus importantes pour la théorie de la lumière. L'expérience de Grimaldi consiste à faire entrer dans la chambre obscure deux rayons lumineux par deux trous très-petits et très rapprochés, percés dans une lame métallique. Si vis-à-vis de cette plaque on place un diaphragme au point d'intersection des deux cônes de lumière, on voit apparaître les franges ordinaires, obscures et lumineuses aux points mêmes où ces cônes se coupent. Remarquez bien en quoi consiste l'importance de ce fait. Dans cette expérience il y a rencontre de deux rayons de lumière qui proviennent de la même source et qui partent des deux trous sous forme de deux cônes divergents. Si la lumière était une matière, il ne serait pas possible de concevoir que deux rayons lumineux puissent, en se superposant, produire une zone obscure. Si la lumière est au contraire un mouvement vibratoire, non-seulement on n'éprouve plus la moindre difficulté à comprendre les franges obscures trouvées par Grimaldi, mais ces franges deviennent une conséquence nécessaire de ce mouvement. Le docteur Young, avec sa grande sagacité d'esprit, a modifié un peu l'expérience de Grimaldi, assez pour qu'elle ne laisse plus de doute sur l'interprétation des phénomènes. Si, en effet, les franges obscures sont le résultat de l'action mutuelle des deux rayons, si ce que Grimaldi disait est vrai, si *dans certains cas de la lumière ajoutée à de la lumière produit de l'obscurité*, les franges disparaîtront lorsqu'on arrêtera l'un des rayons en fermant l'un des trous; l'expérience complétée dans ce sens vérifia entièrement cette conclusion théorique.

(1) Voyez la leçon de M. Clausius sur la *nature de la chaleur* dans le numéro du 20 janvier 1866.

(1) Voyez la leçon de M. Clausius, citée plus haut.

Digitized by Google

Fresnel, pour lever tous les doutes provenant de l'influence qu'on attribuait aux bords de la fente, prit deux miroirs légèrement inclinés, sur lesquels il fit tomber des rayons lumineux provenant d'une même source lumineuse : il arriva qu'après leur réflexion les rayons se rencontrèrent, comme dans l'expérience des trous, et l'on vit de nouveau des franges se produire au point de rencontre. Arago compléta l'expérience de Fresnel en montrant que si l'un des rayons traverse une plaque de verre avant de rencontrer l'autre rayon, les franges s'affaiblissent, ce qui prouve que dans les corps plus denses la vitesse de la lumière se ralentit.

Si nous admettons qu'un rayon lumineux n'est qu'une série de particules d'éther, c'est-à-dire de ce fluide infiniment élastique qui est répandu dans l'univers entier, si de plus nous admettons que ces particules vibrent, oscillent autour de leur position d'équilibre, comme le feraient des pendules ou des balles élastiques l'une à côté de l'autre, il en résultera nécessairement que dans une moitié de l'ondulation le mouvement des particules a lieu dans un sens, et que dans la seconde moitié il a lieu en sens opposé. Il s'ensuit que le mouvement qu'une onde imprime à une particule voisine, sera dans un sens ou dans l'autre, selon la phase de l'oscillation. Si deux rayons de lumière rencontrent une particule d'éther et qu'au moment même où l'ondulation de l'un d'eux lui communique une certaine vitesse dans un sens, l'ondulation de l'autre lui communique une vitesse en sens contraire, il en résultera évidemment que cette molécule restera en repos. Lorsque les mouvements ondulatoires des deux rayons concordent et se superposent dans les mêmes phases de vitesse, le mouvement imprimé à la molécule d'éther est plus fort et l'on observe une frange lumineuse; lorsqu'au contraire les ondulations se rencontrent avec une différence de phase telle que leurs vitesses soient opposées, leurs effets se détruisent et l'on obtient une frange obscure. Les mesures les plus rigoureuses faites sur la largeur et sur les positions de ces franges, ont donné exactement les longueurs d'ondes des diverses couleurs. Lorsque nous disons que la longueur d'onde d'un rayon rouge est de 620 millionièmes de millimètre, ainsi que cela résulte de mesures très-rigoureuses, cela signifie aussi que lorsque deux rayons rouges provenant de la même source se rencontrent avec une différence de marche égale à la moitié de cette longueur, on voit apparaître une frange obscure; lorsqu'il n'y a pas de différence de marche ou que la différence est d'un nombre entier d'ondes, on voit une frange rouge et lumineuse. Ces splendides expériences ne peuvent guère se faire dans un cours ; je puis cependant répéter devant vous quelques expériences plus grossières qui vous aideront à comprendre ces phénomènes optiques. C'est l'acoustique qui nous fournit les expériences qui conduisent le plus directement à la démonstration du phénomène fondamental des interférences. Prenons une plaque de laiton et frottons-là avec un archet de violon, en l'attaquant par le milieu d'une arête; si nous obtenons le son le plus grave, le premier que peut rendre cette plaque lorsqu'on la frotte légèrement, nous la verrons se diviser en quatre triangles ou concamérations vibrants à l'unisson. En frottant plus fortement, on en tire un autre son qui est l'octave du premier et la plaque se divise en huit concamérations qui vibrent encore à l'unisson. En somme, à mesure que le son de la plaque devient plus aigu, la plaque se divise en un nombre plus grand de parties nécessairement plus petites, qui toutes vibrent à l'unisson et se trouvent toujours en nombre pair. Et quand je dis que nous voyons la plaque se diviser, j'énonce un fait qu'on peut rendre visible à l'œil en répandant préalablement un peu de sable fin sur la plaque : les grains de sable quittent peu à peu les points qui vibrent et se réunissent, suivant certaines lignes formées par l'ensemble des points qui ne vibrent pas. Ces lignes portent le nom de *lignes nodales*. Elles séparent deux concamérations voisines qui, comme le prouve l'existence même de ces lignes et leurs propriétés, doivent être animées de mouvements vibratoires contraires sans lesquels ce repos des points qui séparent deux concamérations voisines ne saurait exister.

Il faut donc nécessairement que deux concamérations voisines soient animées de vitesses opposées, et que deux concamérations séparées entre elles par une troisième oscillent de la même manière. Lorsqu'on fait vibrer une plaque ainsi divisée, les vibrations de certaines couches d'air se superposent, parce que ces couches reçoivent la même vitesse; dans d'autres, les vibrations se font en sens contraire, et leurs mouvements se détruisent ou au moins s'affaiblissent. On a imaginé deux manières de rendre manifestes ces effets qui sont de véritables phénomènes d'interférences.

L'une de ces expériences consiste à se procurer un disque de carton à secteurs alternativement pleins et découpés; on le tient suspendu à l'aide d'un fil qui passe par son centre, et l'on peut le faire tourner horizontalement aussi près que possible d'une plaque vibrante. On entend alors, tantôt des sons beaucoup plus forts, tantôt des sons beaucoup plus faibles et cela alternativement. Le premier cas se présente chaque fois que le disque à secteurs découpés laisse découvertes deux concamérations qui ne sont pas en contact et qui vibrent à l'unisson, le second cas se présente lorsque deux secteurs pleins recouvrent en partie deux concamérations voisines.

La deuxième expérience se fait avec un tuyau de bois, dont l'une des extrémités s'élargit et prend la forme d'un entonnoir sur lequel on tend une membrane; l'autre extrémité se termine par deux branches horizontales fermées et faisant entre elles un angle. Vers l'extrémité de ces branches se trouvent deux trous ronds qui peuvent présenter leur ouverture bien au-dessus des centres de deux concamérations qui vibrent à l'unisson, ou au-dessus des centres de deux concamérations qui vibrent en sens contraire. Dans ce second cas, le son de la plaque est considérablement affaibli; dans le premier cas, au contraire, il est considérablement renforcé et l'on voit sauter le sable répandue sur la membrane.

Répétons maintenant notre première conclusion. La lumière n'est absolument qu'un mouvement vibratoire qui se ralentit dans les corps plus denses, ainsi que l'ont très-bien démontré les premières expériences d'Arago, et mieux encore, celles de Fizeau et de Foucault.

Les lois de la réflexion et de la réfraction sont communes aux rayons lumineux et aux rayons calorifiques; on peut en conclure que la chaleur rayonnante, de même que la lumière, est un mouvement vibratoire des particules de l'éther (1).

Melloni a démontré qu'il y a des rayons calorifiques de différentes réfrangibilités, c'est-à-dire des rayons calorifiques de diverses couleurs. Il en résulte que la chaleur est un mouvement vibratoire. Mais la démonstration de cette hypothèse

(1) Voir la leçon de M. Clausius, *Sur la nature de la chaleur*.

Digitized by Google

exigeait pour être complète, la vérification expérimentale de l'interférence de la chaleur. Il y a quelques années, je fis argenter la boule d'un petit thermoscope à air, en laissant complétement à nu une zone très-étroite suivant un grand cercle; cette zone fut, ensuite couverte de noir de fumée.

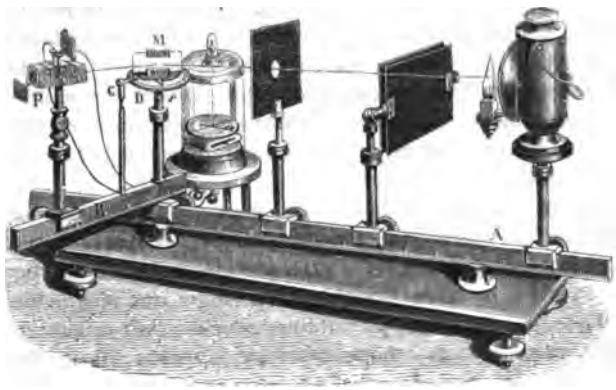


FIG. 51. — Thermo-multiplicateur de Melloni (d'après la *Physique* de M. Ganot).

Avec cet appareil j'ai essayé de répéter pour la chaleur l'expérience de Grimaldi, et malgré les graves difficultés de cette recherche et la disposition défectueuse de l'appareil, j'ai cru voir les interférences calorifiques se démontrer très-bien. Plus tard, Fizeau et Foucault, se servant d'un thermomètre à mercure dont le réservoir était très-petit (il avait à peine 1 millimètre de diamètre), ont mis hors de doute le fait de l'interférence de la chaleur, et par là ils ont établi que la chaleur rayonnante n'est rien d'autre qu'un mouvement vibratoire et par suite une force vive.

Arrivés à cette conclusion, l'explication de la nature du frottement et des résistances passives ne vous présentera plus aucune difficulté; ce ne sont plus là que des conséquences de la théorie dynamique de la chaleur.

Chaque fois que du travail est consumé, il se produit une quantité correspondante de chaleur et réciproquement; dans chacun de ces cas, le mouvement passe d'une grosse masse à des particules ou bien retrouve des molécules à la masse. Lors qu'avec un marteau je frappe une série de coups sur un morceau de plomb, je ne fais que communiquer le mouvement du marteau aux particules du plomb; ce mouvement est de la chaleur; la même chose arrive lorsque la balle tombe sur le sol. Mais cette transformation doit avoir lieu dans une proportion définie; il doit y avoir un rapport constant entre le travail mécanique et la chaleur, et en mesurant chacun de ces deux effets avec l'unité correspondante, nous devons arriver à connaître ce nombre qu'on a appelé l'*équivalent mécanique de la chaleur*.

Voici l'expérience fondamentale faite par Joule pour déterminer cet équivalent. L'appareil est excessivement simple, car il ne consiste qu'en un poids tombant d'une certaine hauteur et faisant tourner, par l'intermédiaire d'une ficelle, un axe muni de palettes au milieu d'une masse d'eau ou de mercure. Évidemment, dans cette eau ou dans ce mercure, et surtout dans ce dernier, la palette éprouve un frottement, est obligée de vaincre une résistance; il faut donc développer un plus grand travail mécanique pour faire tourner cet axe avec la même vitesse dans le mercure ou dans l'eau, que pour le faire tourner dans l'air ou dans le vide.

Ce frottement développe de la chaleur; c'est en effet ce qui a lieu. Lorsque l'expérience a été répétée trois ou quatre fois, lorsque trois ou quatre fois la rotation de l'axe s'est effectuée sous l'action de la chute du poids, le thermomètre plongé dans l'eau du réservoir indique une élévation de température.

Un grand nombre d'expériences faites en variant la nature du liquide, la forme des palettes, la rapidité de la rotation, etc., etc., ont donné à M. Joule des nombres absolument concordants, et ces nombres expriment les kilogrammètres correspondant à une calorie. En moyenne le nombre qu'on appelle équivalent mécanique de la chaleur est de 425 kilogrammètres; cela signifie que développer la quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un degré 1 kilogramme d'eau et soulever un poids de 425 kilogrammes à la hauteur de 1 mètre sont deux effets équivalents.

Cette démonstration a été donnée, comme je vous l'ai déjà dit, par d'autres méthodes; on cite, entre autres, les mesures de l'équivalent mécanique de la chaleur faites par M. Hirn en déterminant les effets du frottement et de la pression. Un autre cas très-simple est celui du frottement que supporte l'eau en sortant de tubes très-étroits, ce qui explique comment une masse très-poreuse ou capillaire s'échauffe pendant l'imbibition. Si l'on a deux vases pleins de mercure et si l'on fait tomber alternativement le liquide de l'un dans l'autre on constate, après plusieurs transvasements, que le mercure s'est échauffé. Les eaux des fleuves restent liquides malgré des températures beaucoup au-dessous de zéro, et cela justement dans les points où il y a des *chutes* et où la vitesse est maximum; c'est là un autre exemple de ce genre.

Nous sommes donc réellement en possession d'un principe général de la nature, et quand on pense qu'il n'y a sur la terre aucun phénomène dans lequel il n'y ait soit augmentation soit diminution de mouvement, plus ou moins de chaleur engendrée, il est impossible de ne pas reconnaître toute l'extension de ce principe. Nous verrons dans cette leçon et dans les suivantes que la découverte de la théorie mécanique de la chaleur a éclairé d'une nouvelle lumière la production d'un grand nombre de phénomènes naturels; nous verrons qu'il n'y aucune machine, aucun phénomène artificiel ou naturel que l'application de cette découverte n'ait conduit à expliquer plus clairement et plus rigoureusement. En même temps elle a montré la liaison intime et mécanique qui existe entre toutes les forces de la nature. Permettez-moi donc de formuler, dans quelques propositions, la signification exacte de la découverte dont nous nous occupons.

1° Dans tout phénomène naturel ou artificiel dans lequel la somme du travail mécanique des forces et la variation de la somme des forces vives ne sont pas équivalentes comme les principes de la mécanique l'exigent, intervient, pour rétablir ce principe, un phénomène calorifique que la théorie dynamique de la chaleur déduite de l'expérience nous a fait connaître comme un simple cas de mouvement moléculaire.

Ce phénomène calorifique sera un développement ou une absorption de chaleur, selon que le travail mécanique des forces qui sont en jeu sera supérieur ou inférieur à la moitié de la variation des forces vives correspondantes.

2°. Développer de la chaleur, accroître la température d'un corps, c'est communiquer à ses molécules et à celles de l'éther qui sont interposées entre elles une certaine quantité de force vive, et si les corps se dilatent il faut de plus ajouter une quantité de travail équivalente à une certaine quantité

Digitized by Google

de force vive donnée par un nombre déterminé expérimentalement.

Nous allons examiner rapidement quelques exemples qui confirment et éclairent ces propositions. Dans l'une des premières leçons je vous ai parlé de la loi de Mariotte, d'après laquelle tous les gaz éprouvent la même variation de densité et de force élastique lorsque leur volume varie par suite d'une compression. Je vous ai dit aussi que par le réchauffement tous les gaz se dilatent de la même quantité pour la même variation de température. Enfin je vous ai dit que la chaleur spécifique est la même pour tous les gaz simples. Ces lois ont été soumises, dans ces dernières années, à des observations plus soignées, qui semblaient devoir nous faire croire qu'elles ne sont que des expressions approximatives et des formules empiriques. La théorie dynamique a replacé ces lois dans leur véritable jour, et les petites modifications trouvées signifient simplement que tous les phénomènes naturels sont nécessairement complexes, parce que toutes les forces naturelles y interviennent pour une part plus ou moins grande, et que ces lois seraient absolument exactes si nous pouvions considérer les gaz comme effectivement indépendants de toute action attractive de leurs parties.

Voyons quelques applications de ces principes. Lorsqu'un volume donné de gaz s'échauffe d'un certain nombre de degrés il se produit un effet différent, selon que le gaz peut se dilater en exerçant toujours la même force élastique ou qu'il est contraint par suite d'une augmentation de pression à conserver le même volume malgré son échauffement. Dans le premier cas, c'est-à-dire quand le volume croît, les molécules doivent s'éloigner et cette séparation équivaut nécessairement à une certaine quantité de travail appelée *travail interne*, parce qu'il a pour but de vaincre les forces moléculaires du gaz. Mais dans la dilatation il faut nécessairement considérer une autre quantité de travail qu'on appelle *travail externe* et *qui fait équilibre* à la colonne de liquide ou au piston qui sert à maintenir ce gaz sous une pression déterminée. La chaleur absorbée dans le cas d'un gaz qui s'échauffe en se dilatant, la quantité de force vive qui se transforme ainsi doit donc être supérieure à la quantité de chaleur nécessaire dans le second cas, lorsque le gaz s'échauffe sans changer de volume. L'expérience a depuis longtemps prouvé que la chaleur spécifique à pression constante est plus grande que la chaleur spécifique à volume constant.

Les conséquences de la théorie dynamique de la chaleur ont de même fait disparaître toute incertitude, toute obscurité de l'expression bien connue, mais jamais bien comprise autrefois, de *chaleur latente*. Où va la chaleur que l'on continue à ajouter à une masse de glace en fusion sans que le thermomètre s'élève? Que devient la chaleur qu'absorbe une masse d'eau en ébullition sans que le thermomètre marque plus de 100 degrés. La théorie dynamique répond immédiatement et sans la moindre incertitude que dans ces cas une certaine quantité de chaleur doit se détruire pour se transformer en travail mécanique, pour séparer les molécules, pour les obliger de s'éloigner et de rester éloignées, pour mettre en mouvement ces molécules et l'éther interposé comme autant de projectiles.

Dans les gaz les forces moléculaires ou d'attraction sont généralement très-petites ou presque nulles, nous devons donc admettre que les lois que je vous ai indiquées pour les corps gazeux deviendraient évidentes si leurs molécules étaient animées constamment de vitesses et de mouvements d'autant plus grands que leur température est plus élevée, et si leur force élastique ou la pression à laquelle elle fait équilibre n'était autre chose que l'effet du choc de ces particules gazeuses contre les parois de leurs récipients.

Prenons un volume donné de gaz, comprimons-le fortement et rapidement au moyen d'un piston, comme cela se fait dans le briquet pneumatique ; nous devrons nécessairement trouver une grande augmentation de température, un développement de chaleur et de lumière, puisque cette compression se transforme en mouvement imprimé aux particules. Dilatons maintenant brusquement cet air; si l'air en se dilatant fait une certaine quantité de travail, si, par exemple, il fait mouvoir un piston chargé de poids ou bien si en s'échappant par un tube plongeant dans de l'eau il barbote dans ce liquide, nous observerons l'effet inverse : il arrivera dans ce cas le contraire de ce qui arrive pendant la compression, et le travail produit par la dilatation devra représenter une certaine quantité de chaleur ou de force vive.

Gay-Lussac a montré depuis longtemps que si l'on fait communiquer deux ballons, l'un renfermant de l'air comprimé, l'autre étant vide, on voit dans le ballon dont l'air s'échappe la température diminuer de la quantité même dont elle s'élève dans le ballon dans lequel l'air se précipite. Par conséquent, si nous avions mis les deux ballons dans un calorimètre la température totale n'aurait pas varié. Mais nous avons déjà dit qu'il n'en est plus ainsi lorsqu'un gaz comprimé se dilate en produisant un certain travail extérieur, tel que le déplacement d'un piston ; alors la température s'abaisse parce qu'il y a de la chaleur détruite, de la force vive transformée en travail.

Les mêmes principes se vérifient constamment dans les machines à vapeur, que nous ne considérons ici que sous le rapport du principe général de la transformation de la chaleur en travail, sans nous occuper de la source de la chaleur sous la chaudière.

Dans une machine à vapeur à haute pression nous voyons, d'une part, la vapeur à une pression de cinq atmosphères, par exemple, entrer dans le cylindre et pousser devant elle le piston. Dans cette dilatation sa force élastique diminue, et à la fin de la course elle n'est plus que d'une atmosphère, pression avec laquelle la vapeur s'échappe du cylindre. Les expériences rigoureuses de M. Regnault nous ont appris combien de calories existent dans la vapeur d'eau sous les différentes forces élastiques. Dans le premier cas la température de la vapeur est de 152 degrés et le nombre de calories correspondant de 653. La communication de la chaudière avec la pompe étant fermée, la dilatation de la vapeur dans le cylindre étant effectuée et le piston soulevé, cette vapeur n'a plus que la température de 100 degrés et une force égale à celle de l'atmosphère ; alors le nombre des calories est réduit à 637. 16 calories ont donc été transformées en travail, et tout le reste a disparu dans l'atmosphère. Dans les machines qui opèrent avec condensateurs et dans lesquelles la vapeur après s'être dilatée, au lieu de se déverser dans l'air, va se condenser dans un récipient qui a une température élevée, le nombre des calories qui se transforment en travail est plus grand que dans le cas précédent. Dans ces machines la vapeur se détend dans le cylindre et prend la même tension que la vapeur du condensateur ; d'un autre côté, la chaudière est alimentée par l'eau chaude du condensateur ; de cette manière

Digitized by Google

la vapeur ne prend plus au foyer seul toute la chaleur nécessaire à sa formation, la condensation lui en restitue une partie. On calcule que dans ces machines la différence entre le nombre total des calories, avant et après le travail, s'élève à 34 au lieu de 16 trouvées dans le cas des machines à hautes pressions. Ces nombres qui devraient représenter le travail utile emprunté à la chaleur, et qui ne montreraient que trop combien la force fournie par ces machines coûte cher, sont déduits directement des nombres de calories que M. Regnault a trouvées dans la vapeur d'eau aux différentes températures et pressions.

Nous possédons cependant depuis quelque temps les résultats d'expériences nombreuses, faites sur une large échelle, pour déterminer directement dans les machines à vapeur, la chaleur communiquée à la vapeur de la chaudière et celle qui est cédée au condensateur. La différence trouvée par les ingénieurs ne serait pas si grande que celle qui résulte des expériences de M. Regnault. Un ingénieur français, qui s'est beaucoup occupé de la théorie dynamique de la chaleur, M. Hirn, croit avoir démontré, par un grand nombre d'expériences faites sur les machines à vapeur, qu'en moyenne il y a toujours au moins $\frac{1}{8}$ de la chaleur du foyer converti en travail utile. On admet aujourd'hui que, pendant la dilatation qu'éprouve la vapeur dans le cylindre, il se produit une condensation et par suite un développement de chaleur qui réagirait de nouveau pour maintenir et pour augmenter la force élastique de la vapeur. Ainsi la vapeur en sortant dans l'atmosphère ou en entrant dans le condensateur emporterait avec elle une partie de la chaleur appelée latente, qui serait mise en liberté par la condensation d'une portion de la vapeur pendant l'acte même de la détente.

J'espère avoir réussi à vous prouver cette vérité fondamentale : que dans tout organe mécanique, solide, liquide ou gazeux, dans tout phénomène, soit artificiel, soit naturel, chaque fois qu'il y a travail détruit il y a production d'une quantité équivalente de chaleur, et réciproquement, chaque fois qu'il y a travail produit, il y a destruction d'une quantité équivalente de chaleur.

Traduit sur le texte italien de MATTEUCCI par FELTZ.

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS.

PHYSIQUE MÉDICALE.

COURS DE M. GAVARRET (1).

De la température des eaux et des climats.

Après avoir étudié la distribution de la température à la surface du globe, nous devons faire la même étude pour les eaux courantes et les eaux stagnantes.

Si l'on observe la distribution de la température dans les lacs profonds, on trouve à une certaine profondeur une température constante de 4 degrés, qui est celle du maximum de densité de l'eau. En été la température décroît depuis la surface jusqu'à cette couche de température constante. Dans l'hiver, au contraire, on constate une élévation de température à mesure que les couches deviennent plus profondes jusqu'à ce qu'on arrive à une température constante qui est également de 4 degrés. Ainsi donc la température du fond des lacs est toujours celle qui correspond au maximum de densité de l'eau ; la température de la surface en contact avec l'atmosphère varie seule suivant les saisons. Il résulte de ce fait qu'un lac ne peut se congeler qu'après que toute sa masse a passé par la température de 4 degrés et la congélation commence toujours par la surface. Examinons maintenant ce qui arrive pour les mers et les eaux courantes.

La surface de la mer, entre l'équateur et le 25e degré de latitude, est généralement plus chaude que l'air qui la recouvre ; entre le 25e et le 50e degré, sauf de rares exceptions, elle est toujours plus chaude que l'air. Il résulte des recherches de M. Martins qu'au milieu de l'été la température de la surface de la mer Glaciale entre le 70e et le 79e degré de latitude est sensiblement égale à celle de l'air ; cependant en moyenne celle de la mer est un peu plus élevée, ce qui tient à l'influence du Gulf-Stream, vaste courant d'eau chaude dont nous parlerons plus tard, qui part du golfe du Mexique et va se perdre en partie sur les côtes occidentales de la Norwége et du Spitzberg. Dans le voisinage des terres les températures moyennes de la surface de la mer et de l'air tendent à se rapprocher, mais l'air est un peu plus chaud sur les côtes du Spitzberg ; la surface de la mer refroidie par l'eau de fusion des glaciers qui remplissent les vallées tombe à une température un peu inférieure à celle de l'air. Sur les côtes de Norwége la mer s'échauffe en même temps que l'air ; mais l'atmosphère s'élève à une température un peu supérieure.

Les voyageurs qui ont étudié la distribution de la température dans la profondeur des mers ont tous constaté qu'entre l'équateur et le 70e degré de latitude la température de l'eau décroît avec la profondeur. M. Martins a montré qu'en été la distribution de la température suit la même loi dans la mer Glaciale. De ses sondages thermométriques exécutés en pleine mer entre le 70e et le 79e degré de latitude, il résulte que, jusqu'à 870 mètres de profondeur, la température de la mer reste supérieure à zéro, et décroît moyennement de 0°,69 par 100 mètres de profondeur. Des recherches de Scoresby dans les mêmes parages, on avait conclu que, dans la mer Glaciale, la température croît avec la profondeur. M. Martins fait observer avec raison que cette anomalie s'explique par les circonstances dans lesquelles le navigateur anglais a fait ses observations. A l'époque, en effet, où Scoresby pratiquait ses études thermométriques, la mer était couverte d'énormes glaçons flottants. Dès lors la surface était incessamment refroidie par le contact de ces glaçons, tandis que les eaux chaudes du Gulf-Stream maintenaient les couches profondes à une température plus élevée. Dans les observations de Scoresby, c'est donc le refroidissement de la surface qui a interverti la loi du décroissement de la température, et non l'existence d'un foyer de chaleur souterrain ou d'un maximum de densité exceptionnel comme celui de l'eau douce.

Dans les lacs tranquilles nous avons vu que la congélation se fait par la surface ; il en est de même dans les mers polaires. Ces résultats, conformes à la théorie et vérifiés par l'observation, ont été trop légèrement étendus à la formation des glaces dans les eaux courantes. Pendant longtemps les physiciens furent en désaccord avec les mariniers et les meuniers qui vivent journellement sur les bords des rivières ; ces derniers prétendant que les glaçons se forment au fond

(1) Voyez les numéros 7, 8 et 10.

Digitized by Google

des rivières, les premiers regardant le fait comme impossible. Si pourtant on examine les glaçons flottants, on remarque qu'ils contiennent à leur face inférieure des grains de sable, des morceaux de bois, des brins d'herbes : voilà ce qu'apprend l'observation, et il est impossible d'expliquer ces faits en admettant la formation des glaces à la surface des rivières.

Dans l'hiver de 1730, Hales rapporte que des bateliers avaient retiré avec leurs crochets de gros glaçons qui reposaient sur le fond de la Tamise. En 1843, Nollet reconnut que les glaçons des rivières sont composés de deux couches : l'une de glace compacte placée au-dessus; l'autre spongieuse, irrégulière et remplie de graviers. Desmaret, Brauns firent aussi des observations semblables. En 1816, on fit des réparations considérables au pont de Kiel ; les officiers du génie surveillant ces travaux virent au fond du lit du Rhin des plaques de glace se former, puis se détacher du fond du fleuve et venir flotter à la surface. Cette dernière observation parfaitement constatée ne permit plus le doute. Dans les grands froids, la congélation des rivières se fait donc par la soudure de ces glaces qui, formées au fond des rivières, viennent ensuite nager à la surface, et c'est à tort que les physiciens ont voulu nier pendant longtemps la possibilité de ce fait.

Climats. — Les météorologistes ont pris la température moyenne comme base de la classification des climats. De ce point de vue, ils les ont divisés : en climats *chauds* compris entre l'équateur et le 25e degré de latitude; climats *tempérés* entre le 25e et le 55e degré ; climats *froids* du 55e degré au pôle. On subdivise quelquefois les climats chauds en climats *torrides* et climats *chauds* ; les climats froids sont aussi partagés en climats *froids* et climats *glacés*.

De Humboldt, le premier, a imaginé de tracer sur la surface du globe des courbes passant par tous les lieux qui possèdent une même température moyenne ; il a appelé ces courbes lignes isothermes. Sur ces lignes, la température moyenne d'un lieu se trouve corrigée de l'influence de l'altitude ; la température est donc un peu plus élevée que celle du lieu; pour savoir exactement ce qu'elle est, il faut la diminuer de 1 degré par 180 mètres d'élévation au-dessus du niveau de la mer. Les lignes isothermes ainsi tracées ne sont pas régulières, elles éprouvent des inflexions sous l'influence des causes qui modifient la température : la nature du terrain, sa culture, son exposition, les vents régnants. Ainsi, toutes les fois qu'on passe du continent à la mer, la ligne isotherme s'incline vers les pôles ; par conséquent, à latitude égale, la température en mer est un peu plus élevée. Les lignes isothermes, en passant du continent européen sur le continent américain ou asiatique, s'éloignent du pôle. Les climats de l'Europe centrale sont donc plus favorisés puisqu'ils possèdent, à même latitude, une température supérieure. Ils doivent ce privilége à un vaste courant d'eau chaude, célèbre sous le nom de Gulf-Stream. Ce courant prend naissance du courant équatorial qui traverse l'Atlantique de l'est à l'ouest, et qui, refoulé par le cap Saint-Roch, se partage en deux branches. La plus importante de ces deux branches est le Gulf Stream. Ce courant se dirige vers le nord, s'enfonce dans le golfe du Mexique, traverse le canal de Bahama, longe le banc de Terre-Neuve et, arrivé vers le 49e degré de latitude, il tourne brusquement à l'est pour revenir vers l'Europe. Une branche de ce courant longe les côtes occidentales de l'Écosse et de la Norwége, et se perd dans la mer Glaciale; le reste des eaux tourne vers le sud à la hauteur des côtes occidentales de l'Espagne pour venir rejoindre le grand courant tropical à la hauteur du milieu de l'Afrique. Ce courant est la cause de la température si modérée de l'Europe centrale, parce que c'est par l'intermédiaire des vents que la chaleur de la mer se communique au continent. A la hauteur de l'Europe les vents dominants sont les vents du sud-ouest; or, ces vents ayant pour base un courant d'eau chaude en prennent la température, et soufflent sur l'Europe avec une température bien plus élevée que si la mer, privée du courant chaud que nous avons décrit, fût restée au degré de chaleur que comporte sa latitude. Si vous considérez les côtes orientales des États-Unis, vous trouverez que les vents sud-ouest qui ont passé sur le continent américain sont des vents froids. Ces vents s'échauffent en traversant l'Atlantique, deviennent chauds pour l'Europe, cèdent leur chaleur, se refroidissent et redeviennent des vents continentaux et froids pour l'Asie. La Sibérie qui est abritée de ces vents par les monts Ourals, possèdent une température bien inférieure au reste de l'Europe.

Vous voyez combien il est important pour déterminer la température d'un climat, de tenir compte non-seulement de la latitude et de l'altitude, mais encore des vents régnants. Il me suffit d'avoir appelé votre attention sur les lignes isothermes, mon but n'est pas d'en faire l'étude complète, j'ai dû vous signaler leurs deux grandes inflexions.

On a cherché aussi à établir des lignes passant par les lieux qui possèdent les mêmes moyennes hibernales ou isochimènes, et des lignes passant par les lieux qui ont la même moyenne estivale ou isothères. Malheureusement cette étude est très-peu avancée; elle rendrait de très-grands services en indiquant quelles sont les différences de température auxquelles les êtres vivants se trouvent exposés dans un même lieu. Il faut savoir que l'organisme s'harmonise facilement pour toute espèce de température dès qu'elle est constante ; mais les variations de température sont très-difficilement supportées.

La classification des climats que je vous ai indiquée est basée sur la température moyenne, elle apprend peu de chose au médecin, il en est une autre qui pour lui est très-utile : c'est la classification en climats *constants*, *variables* et *excessifs*. Un climat constant jouit d'une température qui est toujours sensiblement la même. Comme type de climat variable, je vous citerai celui de Paris. Dans un climat excessif on est exposé à des variations très-grandes de température. Cette division est très-importante pour le médecin qui est appelé à donner des conseils aux malades. Tout démontre, en effet, que si les sujets à poitrine délicate se trouvent très-bien dans les climats constants, chauds ou froids, ils ne supportent que très-difficilement les climats variables et surtout excessifs.

Nous devons considérer quelles sont les conditions qui influent sur la constance du climat. La latitude doit jouer nécessairement un rôle important puisque le soleil, comme nous le verrons plus tard, est la seule source de la chaleur des climats. Les contrées où cet astre reste chaque jour douze heures sur l'horizon reçoivent toujours la même quantité de chaleur et sont des climats constants par excellence. Aussi trouve-t-on en Guinée, par 5 degrés de latitude, avec des

Digitized by Google

jours dont la durée est constamment de douze heures, les températures moyennes suivantes :

Hiver	28°,1
Printemps	28°,3
Été	26°,4
Automne	27°
Moyenne	27°,4

Les climats très-constants sont donc les climats équatoriaux, et c'est pourquoi les côtes de l'Algérie sont, avec raison, de plus en plus fréquentées par les malades, parce qu'on marche vers des stations plus rapprochées de l'équateur. Si les climats intertropicaux ont les plus constants au point de vue des saisons, il faut savoir que, dans l'intervalle de vingt-quatre heures, ce sont des climats excessifs. Dans ces régions, le crépuscule n'existe pas, la terre passe rapidement d'un échauffement considérable à un prompt refroidissement par suite du rayonnement nocturne, il y a une différence très-marquée entre la température du jour et celle de la nuit. Mais ces variations brusques peuvent être prévues; on peut les éviter et les malades qu'on envoie dans ces pays peuvent facilement se garantir de ces inconvénients.

A mesure que l'on sort de cette région intertropicale, il y a une plus grande différence entre les jours et les nuits, et l'on marche vers des climats qui deviennent de plus en plus variables. Ainsi à Paris, par 48°50′ de latitude, on trouve pour les saisons les températures moyennes suivantes :

	Température.	Durée moyenne du jour.
Hiver	3°,3	9h.45
Printemps	10°,3	14h.30
Été	18°,3	14h.30
Automne	11°,2	9h.45
Moyenne	10°,8	

Si l'on s'avance encore plus vers des latitudes élevées, les différences deviennent plus grandes, et l'on arrive à des climats excessifs. Le tableau suivant le démontre :

	Paris.	Berlin.	S.-Pétersbourg.
Latitude	48°50′	52°31′	59°56′
Température moyenne de janvier	+ 2°,1	— 2°,4	— 9°,5
Température moyenne de juillet	+ 18°,6	+ 18°,5	+ 17°,3
Différence	16°,5	20°,9	26°,8

Tandis qu'à Paris les plus longs jours sont de seize heures; à Saint-Pétersbourg, vers le voisinage du solstice d'été, il n'y a pas de nuit puisque les deux crépuscules empiètent l'un sur l'autre; mais en hiver, c'est à peine s'il y a quatre heures de jour. Aussi trouve-t-on entre la moyenne de l'été et celle de l'hiver 26°,8.

Je vous citerai encore un dernier exemple pour vous faire bien comprendre l'influence de la position du soleil sur la température des climats. A Bosekop, par le 70e degré de latitude, MM. Bravais et Martins ont pris la température pendant quatre-vingts jours, quarante jours avant le solstice d'hiver, quarante-jours après, le soleil restant toujours au-dessous de l'horizon et l'obscurité étant complète; ils ont obtenu les nombres suivants qui expriment les moyennes des températures trouvées :

Midi.	— 9°,12	Minuit.	— 9°,09
2 h.	— 9°,05	2 h.	— 9°,25
4 h.	— 9°,28	4 h.	— 9°,21
6 h.	— 9°,31	6 h.	— 9°,30
8 h.	— 9°,22	8 h.	— 9°,22
10 h.	— 9°,07	10 h.	— 8°,94

Ces exemples vous démontrent pleinement l'influence que la position du soleil exerce sur la variabilité ou la constance d'un climat.

Il y a une autre condition qui modifie puissamment la température des climats, c'est le voisinage du bord de la mer ou la position au milieu de l'océan. On peut dire, en général, que le voisinage des mers élève un peu la température moyenne et rapproche surtout les extrêmes. Ce résultat s'explique facilement : en hiver, quand l'eau se refroidit, la couche supérieure devenue plus dense gagne le fond, et est remplacée par une couche plus chaude; tandis qu'à la surface de la terre la couche superficielle continue de plus en plus à se refroidir. En été, le continent se réchauffe très-rapidement; il n'en est pas de même à la surface des mers, à cause de la capacité très-considérable de l'eau pour la chaleur et de la grande quantité de calorique qui disparaît lorsque l'eau passe à l'état de vapeur. Telle est la donnée générale, mais il y a des exceptions qui sont dues à des causes locales ou à l'influence des vents régnants. Les côtes de la Méditerranée paraissent réunir les meilleures conditions qui assurent la constance du climat; mais elles sont perturbées par le mistral qui, au milieu de l'été, se précipite du sommet des Alpes sur la Provence, et vient produire un abaissement considérable de la température.

Pour chercher des climats constants, il faut aller vers l'équateur et le bord de la mer, mais il faut aussi s'enquérir si des causes perturbatrices ne viennent pas les modifier profondément.

Dans les climats marins les moyennes de l'hiver et de l'été diffèrent peu, mais à mesure qu'on s'avance dans l'intérieur du continent, elles s'écartent l'une de l'autre. Ainsi en Irlande, sur les côtes du Glenarm par 55 degrés de latitude, le myrte croît en pleine terre comme en Portugal; tandis qu'à Koenisberg, par la même latitude, la température moyenne de l'hiver est de — 3°, 3. — En Angleterre, sur les côtes du Devonshire, les orangers fructifient en espalier. La température moyenne hivernale sur les côtes méridionales de l'Angleterre est de 5 à 6 degrés, et la température moyenne estivale est de 11 degrés.

Sous une même latitude de 56 degrés, la différence entre la température moyenne de l'hiver et de l'été est de 19°,6 à Édimbourg; de 27°,8 à Moscou, climat continental; à Kasan, toujours sous la même latitude, elle est de 31°,3; cette différence si grande est due à l'influence des vents régnants et à la sérénité du ciel qui dans ces dernières contrées favorise le rayonnement du sol en hiver et son échauffement pendant l'été.

Par le 62e degré de latitude, aux îles Fœrœ, les lacs ne gèlent pas, la température moyenne de l'air est en hiver de 4°,3; en été, elle est de 12 degrés. Par la même latitude, comme climat continental, vous trouvez Yakoutsk en Sibérie, dont la température moyenne en été est de 17°,5, tandis qu'en hiver le mercure y gèle pendant plusieurs semaines.

Ces exemples suffisent pour vous bien montrer que les climats constants sont ceux qui se rapprochent de l'équateur et du bord de la mer; la station type que je puisse vous citer est celle de Madère, située par 32 degrés de latitude, au milieu de l'océan Atlantique, à peu de distance des côtes de l'Afrique.

Dr E. MORIN, préparateur de cours,
Pharmacien en chef de l'hôpital Saint-Antoine.

Digitized by Google

ENSEIGNEMENT LIBRE.

PHYSIOLOGIE MÉDICALE

COURS DE M. MAREY (1).

Du mouvement dans les fonctions de la vie.

II.

DES APPAREILS ENREGISTREURS ET DE LEUR APPLICATION EN PHYSIOLOGIE.

Messieurs,

Je vais essayer d'esquisser en quelques lignes l'histoire de la méthode graphique appliquée à l'étude du mouvement, en notant les progrès successifs qui l'ont faite ce qu'elle est aujourd'hui.

Il ne faut pas remonter bien loin pour trouver l'origine de la méthode graphique, ou du moins de ses applications concrètes. Car, si Descartes est l'inventeur de la représentation écrite d'un mouvement, c'est à Watt que l'on doit le premier instrument enregistreur qui ait traduit ce mouvement au moyen d'une courbe tracée par la machine elle-même; Watt, en 1806, cherchait à connaître le rapport qui existe entre le mouvement du piston d'une machine et la pression de la vapeur qui le soulève. Pour cela, il fit tourner un cylindre vertical au moyen d'une corde attachée au piston de la machine; sur ce cylindre écrivait une plume mue verticalement par une sorte de manomètre à ressort connu sous le nom d'indicateur de Watt. On comprend que dans ces conditions, la ligne des abscisses, c'est-à-dire des temps, était tracée par le mouvement essentiellement varié et alternatif du piston, et que la courbe obtenue donnait bien l'expression de la tension de la vapeur, relativement au mouvement du piston. Plus tard, un mécanicien allemand, voulut compter automatiquement les coups d'un bélier hydraulique pendant un temps donné. Il prit une bande de papier animée d'un mouvement de translation arbitraire, sur laquelle il faisait pointer les coups de bélier. Notant l'heure du début et celle de la fin de l'expérience, il comptait le nombre de pointages dans ce temps, et de là concluait au nombre de coups de bélier par minute. Dans cette méthode, on n'avait aucune preuve de la régularité des coups de bélier hydraulique, puisque la vitesse de translation du papier était arbitraire.

C'est alors que doit se placer l'invention du général Poncelet, qui conçut le plan de la machine à enregistrer la chute des graves. Un cylindre tournant d'un mouvement uniforme reçoit la trace d'un mouvement accéléré. Cette machine fut construite par le général Morin qui chercha à appliquer la même méthode à l'analyse de diverses espèces de mouvement. Le principe sur lequel elle est établie est celui d'après lequel on a construit, et l'on construira toutes les autres : c'est la comparaison d'un mouvement varié au mouvement uniforme. Plusieurs modifications de détail ont été apportées, suivant le besoin, à la construction des enregistreurs : On s'est servi de surfaces planes au lieu de cylindre tournant. Des disques tournant ou des plaques traînées par un chariot dans un plan vertical ont servi à recevoir le tracé. Une surface plane présente un grand avantage dans le cas ou la pointe écrivante est mue par un levier. En effet, dans ces conditions la pointe ne reste en contact avec le cylindre que si elle n'exécute que des mouvements très-peu étendus, tandis que l'emploi d'une surface plane pour recevoir le tracé permet au levier d'enregistrer des mouvements d'une amplitude illimitée.

Un inconvénient très-grand empêchait encore de tirer de la méthode graphique tous les fruits possibles. C'est que l'uniformité absolue n'existe pas dans le mouvement de nos machines. Si une montre marque l'heure exactement, c'est-à-dire si elle se retrouve d'accord au bout de vingt-quatre heures avec le mouvement sidéral, cette précision apparente n'est que la confirmation d'une série d'avances et de retards. Le cylindre tournant n'est pas plus que les autres machines animé du mouvement uniforme absolu, de sorte que, dans l'appréciation d'un phénomène, si l'on veut diviser une seconde en fractions très-petites, on peut commettre de graves erreurs.

Pour corriger cette irrégularité du mouvement, ou plutôt pour la signaler lorsqu'elle existe, Wertheim eut l'heureuse idée d'enregistrer sur le disque tournant qu'il employait les vibrations d'un diapason. Connaissant combien de fois un diapason vibre par chaque seconde, il devenait facile de déterminer sur un tracé la durée exacte d'une seconde, d'un dixième, d'un centième, d'un millième même de seconde, il suffisait pour cela de compter le nombre de vibrations enregistrées dans une longueur quelconque, pour déterminer la valeur de cette longueur transformée en temps.

M. Duhamel donna une grande impulsion à cette méthode nouvelle de mesurer le temps; le succès fut si complet qu'il permet aujourd'hui de mesurer la vitesse d'un projectile d'arme à feu avec une approximation qui irait, au besoin, à un vingt millième de seconde.

Enfin, tout récemment, M. Foucault vient de résoudre d'une manière satisfaisante la difficulté qu'on n'avait encore qu'éludé, il vient de construire un régulateur qui permet de donner à une machine quelconque le mouvement uniforme. Un appareil de ce genre aurait marché d'accord avec un pendule astronomique pendant trois heures, avec un écart de un vingtième de seconde seulement. On voit qu'il n'existe aucune expérience où une pareille précision ne soit pas suffisante.

Les physiologistes ont compris des premiers toute l'importance qu'avaient de pareils instruments, aussi en ont-ils fait des applications nombreuses et qui chaque jour s'étendent davantage. Nous aurons à décrire en leur temps ces différents appareils, dont les premiers sont le kymographion de Ludwig, employé depuis par Volkmann et le myographion de Helmholtz. Puis vinrent le sphygmographe de Voerendt le nôtre avec le cadiographe et le thermographe, etc. Les noms de ces appareils indiquent leur destination.

Pour étudier fructueusement les différents appareils construits jusqu'ici par les physiologistes, pour pouvoir juger la valeur de chacun d'eux, ainsi que le degré de confiance qu'on doit leur accorder, nous devons tout d'abord rechercher les causes d'erreur qui peuvent se présenter dans leur construction. Elles peuvent porter sur presque tous les éléments des appareils dont on se sert : sur l'*enregistreur*, sur les pièces qui tracent la courbe, et sur les divers organes qui transmettent le mouvement du point où il se produit à la plume qui l'enregistre.

L'enregistreur parfait est celui qui se meut d'une vitesse absolument uniforme, or, nous avons dit que cet appareil idéal pourra être réalisé au moyen du régulateur de Fou-

(1) Voyez le numéro 10.

Digitized by Google

cault. En attendant, il faut rendre le moins irréguliers qu'il soit possible les moteurs dont nous disposons. D'après les figures publiées par les physiologistes allemands, on voit que ces auteurs se sont servis assez souvent du pendule circulaire de Huyghens, et qu'ils évitaient ainsi dans le mouvement de leur cylindre les petites oscillations de l'échappement des pendules ordinaires. D'autres fois, ils se sont servis de volants dont les ailes s'ouvraient ou se fermaient à volonté, éprouvant ainsi une résistance variable de la part de l'air ou de l'eau dans laquelle ils se mouvaient. Ces variations dans la vitesse sont indispensables pour un enregistreur qui doit servir à différents usages ; en effet, on rencontre dans les fonctions de la vie des mouvements de toutes sortes, tantôt très-rapides, tantôt très-lents.

Un enregistreur à mouvements extrêmement lents n'est pas moins précieux qu'un appareil à mouvements rapides, car ce n'est pas seulement l'extrême rapidité d'un mouvement qui fait qu'il nous échappe. C'est non moins souvent son extrême lenteur : la marche de l'aiguille d'une montre échappe à nos yeux. Nous ne voyons pas davantage un animal augmenter de volume, une partie du corps se gonfler ou se resserrer par les variations lentes de la circulation interstitielle. Ce qui nous frappe, dans ces derniers cas, c'est le changement d'état constaté dans deux observations éloignées, mais nous ne percevons pas les phases diverses, plus ou moins lentes ou rapides de ces changements d'état. Il y aura grand intérêt à étudier au moyen de semblables appareils les phénomènes à variations lentes : l'accroissement, les différentes pertes de poids du corps par la transpiration ou l'exhalation pulmonaire, sous l'influence de diverses températures et dans des milieux variables. Un grand nombre de phénomènes, qui nous échappent presque entièrement, pourraient ainsi être appréciés. Aujourd'hui, la tendance est à l'analyse des mouvements rapides, les imaginations ont été vivement impressionnées par les découvertes de Helmholtz qui mesura la vitesse du courant nerveux. Les sciences physiques nous ont donné de bien plus grands sujets d'étonnement, en nous montrant que l'on peut mesurer le temps qu'un boulet de canon met à parcourir l'espace d'un mètre ou que la lumière emploie à parcourir un kilomètre. Les phénomènes de la physiologie dont nos sens nous ont révélé l'existence se passent dans des limites de temps moyennes entre ces extrêmes. Un enregistreur dont la vitesse est d'un centimètre à la seconde suffit dans bien des circonstances; ainsi dans les expériences faites sur les battements du cœur, sur ceux du pouls et sur les mouvements respiratoires. Cette vitesse, si elle était généralement adoptée pour la plupart des expériences, aurait cet avantage qu'elle établirait une sorte d'unité dans les recherches des physiologistes de différents pays. On est souvent dérouté lorsqu'on voit qu'une courbe que l'on a obtenue avec un appareil d'une certaine vitesse est représentée par un autre physiologiste avec une vitesse toute différente. La déformation qui se produit alors n'a, du reste, aucune valeur absolue; elle ne doit en rien altérer le premier des mouvements, mais le représente seulement sur une échelle plus ou moins étendue. Dans bien des circonstances, il faut tâtonner et chercher la meilleure vitesse qu'on puisse employer. Lorsqu'un tracé est très-riche en détails, il risque d'être confus si la machine tourne lentement, il faut alors accélérer le mouvement jusqu'à ce que tous les détails deviennent bien distincts les uns des autres.

D'une façon générale, lorsqu'on doit enregistrer une courbe, il est bon de chercher une vitesse de l'enregistreur telle qu'il n'y ait dans le tracé ni ligne verticale absolue, ni ligne horizontale. Le premier cas est dû à ce que le cylindre tourne trop lentement, de sorte que le mouvement enregistré est infiniment rapide par rapport à celui du cylindre. Le second cas se produit lorsqu'un mouvement lent s'enregistre sur un cylindre qui tourne avec une excessive rapidité. La ligne sensiblement horizontale obtenue dans ce dernier cas, signifie que par rapport à la rotation du cylindre le mouvement enregistreur est infiniment lent.

Après de nombreux tâtonnements, voici la disposition que j'ai adoptée dans la construction de mon enregistreur. Cet appareil permet d'obtenir à volonté : des tracés de longue durée inscrites à l'encre sur une bande de papier de 5 ou 6 mètres de long; des tracés de courbe obtenus sur des plaques de verre traînées dans un plan vertical par un petit chemin de fer. Enfin mon appareil fournit dans certains cas des tracés dans lesquels les phénomènes les plus rapides sont facilement mesurables; je les obtiens sur un disque qui tourne avec une grande rapidité sur l'axe même du volant et qui exécute de quinze à vingt tours par seconde au besoin.

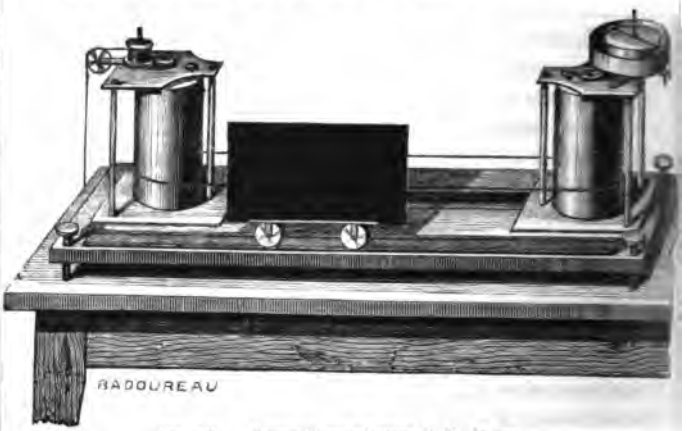


Fig. 52. — Appareil enregistreur de M. Marey.

La figure 52 représente l'enregistreur dont je viens de parler. A gauche est un cylindre fixé sur une planche horizontale et soumis à la traction d'un poids. Ce cylindre tournerait ainsi follement sur son axe si le poids agissait sur lui seul, mais un câble sans fin le relie à un autre cylindre situé à droite de la planche et qui ne peut tourner qu'en entraînant avec lui un mouvement d'horlogerie que termine un volant. Ce dernier constitue une résistance et règle ainsi la vitesse de rotation des deux cylindres rendus solidaires par le câble sans fin. Quant à la disposition du volant, elle est telle que le mouvement puisse varier en vitesse de 1 à 200 ou 300, et même davantage. Le volant a deux ailes qui tournent dans une gorge circulaire ménagée dans le tambour cylindrique représenté dans la figure. Ces ailes s'ouvrent ou se ferment à volonté et rencontrent par conséquent des résistances variables. La gorge dans laquelle ces ailes se meuvent peut être plus ou moins remplie d'eau et fournir ainsi une nouvelle série de vitesses moindres que la précédente, et pouvant se graduer jusqu'à une lenteur extrême, surtout si l'on remplace l'eau par un liquide visqueux.

Voilà donc le mouvement produit dans les deux cylindres avec la vitesse que l'on veut obtenir. La corde sans fin qui transmet le mouvement du premier cylindre au second sert à

Digitized by Google

mettre en mouvement une plaque de verre enfumé portée sur un petit chariot qui roule sur un chemin de fer en avant des deux cylindres ; à cet effet, une pince en forme de fourchette existe derrière le chariot et reçoit la corde sans fin qui glisse sans frottement entre les deux branches de la fourchette sans entraîner le chariot.

Au moment où l'on veut que le chariot se meuve, une bascule pesante, que l'on fait tomber au-dessus de la fourchette, enfonce la corde dans son encoche, et le chariot, devenu adhérent à la corde, suit son mouvement; si l'on relève la bascule, la corde redevient libre et le chariot s'arrête. Cette disposition permet d'obtenir, presque instantanément, le mouvement de la plaque de verre ou son arrêt, sans que la machine cesse de fonctionner.

Si l'on veut enregistrer une expérience de longue durée, on enlève le chariot et la corde sans fin, on dévisse un écrou qui fixait en place le cylindre qui porte le volant et l'on fait marcher ce cylindre de droite à gauche dans une glissière disposée à cet usage, jusqu'à ce qu'on l'ait amené au contact du cylindre de gauche, où on le fixe en resserrant l'écrou. On colle alors l'extrémité d'une bande de papier sur le cylindre de droite et on l'enroule sur celui-ci, puis on colle l'extrémité de cette bande sur le cylindre de gauche. Dans ces conditions, la bande de papier, tirée par le cylindre de gauche que le poids met en mouvement, s'enroulera sur lui et se déroulera du cylindre qui tient au volant. Cette feuille sera l'organe de la transmission du mouvement d'un cylindre à l'autre, et, par conséquent, sera toujours régulièrement tendue. La rapidité du mouvement de cette bande de papier se réglera, comme celle du chariot, au moyen du volant.

Enfin, pour les expériences qui doivent s'enregistrer avec un mouvement très-rapide, je me sers d'un disque tournant monté sur l'axe prolongé du volant lui-même. Ce disque de verre enfumé reproduit les conditions des expériences de Wertheim. Valentin s'en est servi avec succès pour l'étude des formes de la contraction musculaire. Il permet d'obtenir facilement des mouvements qui correspondraient à une vitesse linéaire de 3 ou 4 mètres par seconde. Comme, d'autre part, on peut obtenir avec le chariot une vitesse minimum de 1 millimètre par seconde, on voit que la série des vitesses possibles avec cet appareil s'échelonne entre un et trois ou quatre mille. Dans toutes ces conditions, il est utile de déterminer quelle est la vitesse de translation des surfaces sur lesquelles on enregistre un mouvement. Pour cela, je me sers ordinairement d'un pendule qui bat les secondes et les enregistre sur le papier ou la plaque de verre, au moyen d'un levier de cardiographe ordinaire. Pour les mouvements très-rapides ou pour les mesures de très-faibles durées, j'emploie la méthode de Wertheim, c'est-à-dire j'enregistre les vibrations d'un diapason bien réglé par la méthode optique de M. Lissajoux. On peut, par ce moyen, déterminer très-facilement, avec certitude, des durées moindres qu'un millième de seconde.

Des appareils qui tracent le mouvement. — On a souvent à enregistrer des mouvements assez forts pour qu'ils puissent, sans s'altérer, supporter la résistance de frottement d'une plume sur du papier glacé. Alors le tracé s'écrit avec l'encre ordinaire, c'est la manière la plus simple. Ce moyen peut être employé pour les mouvements respiratoires, pour ceux du pouls et même pour ceux du cœur quand ils sont bien prononcés. Il faut, toutefois, que la plume exerce le moins de pression possible sur le papier sans toutefois cesser d'être en contact avec lui. Pour cela, je place cette plume au bout d'un mince ressort, qui se courbe légèrement par le contact de la plume avec le papier, mais dont l'extrême élasticité n'exerce contre celui-ci qu'une pression très-faible et très-régulière.

Si l'on écrit sur le verre enfumé, le même ressort, taillé à son extrémité en *pointe sèche*, peut être employé. On peut avantageusement remplacer ce ressort d'acier par une lame de baleine effilée en pointe et râpée avec du verre jusqu'à ce qu'elle soit amincie au point de devenir diaphane. Cette pointe réunit, comme le ressort, l'extrême flexibilité dans le sens de son épaisseur et la rigidité complète dans celui de sa largeur, c'est-à-dire dans le sens vertical.

La même pointe sert à écrire sur une feuille de papier enfumée et tendue sur la glace que traîne le chariot.

Pour fixer les tracés au noir de fumée, s'ils sont sur papier, on trempe celui-ci dans l'essence de térébenthine, et lorsqu'il est sec, le noir est fixé suffisamment. Le même procédé peut être employé pour les tracés reçus sur une plaque de verre enfumé, à moins qu'on ne préfère employer ceux-ci comme clichés photographiques, ce qui permet de tirer un tracé à plusieurs exemplaires.

Il existe, m'a-t-on dit, d'autres moyens encore : ainsi le transport d'un tracé de noir de fumée sur papier gélatine, mais je n'ai pas vu employer ce procédé, et je n'ai pu réussir à obtenir ainsi de bonnes épreuves.

Des appareils qui amplifient et transmettent le mouvement. — Entre la plume qui écrit et l'organe qui se meut, il faut nécessairement des appareils intermédiaires dont la forme variera avec le besoin, et qui, s'ils ne sont pas bien construits, peuvent modifier la forme du mouvement. On prouve facilement ce fait en inscrivant le même mouvement au moyen de deux appareils différemment construits; soit le battement d'une artère qu'il s'agisse d'enregistrer, on pourra se servir du manomètre enregistreur, du sphygmographe de Vierordt ou de mon sphygmographe. Dans ces trois cas, on aura trois tracés différents. Cela prouve déjà que deux au moins de ces appareils ont altéré le mouvement. J'espère vous prouver, plus tard, que le troisième n'est pas passible du même reproche.

Il est facile de démontrer que le manomètre n'obéit pas fidèlement au mouvement qui lui est imprimé. Il suffit de souffler dans cet appareil et d'élever ainsi l'une des colonnes de mercure à un certain niveau au-dessus de l'autre. Lorsqu'on cesse de souffler, le niveau devrait se rétablir dans les deux colonnes, puisque la pression atmosphérique agit également sur les deux branches. Or, vous savez qu'il n'en est rien, et que le niveau ne s'établit dans les deux branches de l'appareil qu'après des oscillations nombreuses qui sont *propres* à l'instrument. Ce défaut du manomètre est inhérent à l'emploi d'une colonne de mercure, et doit faire rejeter d'une manière absolue l'emploi du mercure dans les expériences graphiques. Le manomètre est un excellent instrument, si on lui demande d'indiquer l'intensité d'une pression fixe, positive ou négative; il cesse d'être bon s'il doit signaler des états variables.

Passons au sphygmographe de Vierordt; cet appareil est composé de leviers équilibrés par des contre-poids, il se comporte à la manière d'une balance dont l'un des plateaux serait agité par un moteur quelconque, et dont l'autre répéterait le mouvement du premier. Or, une balance est-elle capable d'obéir fidèlement à la force motrice qui la sollicite. Vous

Digitized by Google

pouvez vous convaincre facilement du contraire : chargez de 1 kilogramme chacun des deux plateaux, et laissez tomber dans l'un d'eux un poids de 1 gramme. Le plateau surchargé va-t-il tomber avec le poids qu'il reçoit et partager son mouvement rapide. Non, sans doute, vous savez qu'il descendra lentement, et que son mouvement sera d'autant plus lent, que le poids ajouté représentera une moindre fraction de la masse en équilibre. Le sphygmographe de Vierordt, instrument pondéré, semblable à la balance, présente comme elle l'inconvénient d'obéir avec lenteur aux impulsions qu'il reçoit, et par conséquent d'en changer la forme en vertu de son inertie.

J'ai cherché à éviter ces deux inconvénients, en construisant mon sphymographe. Ce n'est pas le moment de donner une description de cet appareil que j'aurai l'occasion de vous montrer plus tard.

En résumé, entre l'organe qui se meut et la pointe qui écrit le mouvement, il faut une pièce intermédiaire. La plus facile à employer et la plus avantageuse, c'est le levier. Celui-ci en effet, amplifie ou réduit le mouvement suivant le besoin. Quant à la manière d'éviter les inconvénients des appareils qui déforment le mouvement en vertu de leur masse, le remède le plus naturel est de diminuer cette masse elle-même le plus possible. Pour cela, on fait ce levier d'une substance très-légère, amincie transversalement, afin qu'elle ait, dans le sens vertical, une résistance aussi forte que possible tout en étant très-légère. On comprend que ce levier n'a plus de tendance à déformer le mouvement qu'il reçoit, d'autant plus qu'on exerce sur lui la pression constante d'un petit ressort qui assure son contact permanent avec l'organe qui fournit le mouvement exploré.

Enfin, le levier présente un léger inconvénient, celui de tracer un arc de cercle lorsqu'il s'élève ou s'abaisse par un mouvement vertical, ce qui fait que les courbes obtenues appartiennent au système des coordonnées polaires, et non au système orthogonal que nous avons décrit précédemment. Ces deux systèmes sont réductibles l'un dans l'autre par la géométrie analytique; mais, pour éviter ces pénibles transformations, il vaut mieux donner au levier beaucoup de longueur, et ne pas chercher à donner au tracé une grande amplitude; de cette manière, le court axe du cercle tracé par un long levier peut, sans erreur sensible, être considéré comme une ligne droite. Le seul inconvénient, c'est de donner moins de netteté au tracé, par suite de l'extrême petitesse des courbes obtenues. On y remédie en donnant à la pointe ou à la plume écrivante une extrême finesse et en grandissant optiquement le tracé, ce qui n'altère pas ses proportions; on peut donc examiner avec une petite loupe un tracé très-fin et très-petit, ou si ce tracé est recueilli sur un verre enfumé, le projeter sur un écran au moyen du mégascope qui l'amplifie autant qu'on veut, et permet de le décalquer avec les dimensions désirées.

Transmission à distance du mouvement obtenu. — Souvent il est indispensable de pouvoir faire agir sur un ou plusieurs leviers établis les uns au-dessus des autres, des mouvements émanés de points différents et souvent éloignés. Pour cela, un excellent moyen de transmission consiste dans l'emploi de tubes pleins d'air, terminés aux deux extrémités par des entonnoirs que ferment des membranes élastiques. C'est le procédé imaginé par Buisson, et qu'avait déjà employé dans des conditions analogues le docteur Upham de Boston. Cette transmission m'a servi dans les expériences de cardiographie et dans différentes recherches sur l'action musculaire.

Enfin, étant donné un tracé enregistré par l'appareil, il est important de trouver des procédés pour le reproduire sans l'altérer dans les publications diverses. — Dans ces cas, la photographie peut rendre de très-grands services, surtout lorsqu'elle permet de graver les figures photographiques sur plaques métalliques sans l'intervention du burin.

Une des grandes difficultés de la méthode graphique tient à l'extrême faiblesse de mouvements qu'on a quelquefois à enregistrer. Ainsi, en thermographie, on verra que mon appareil, placé dans des conditions d'équilibre constamment variables, ne développe pas de force motrice suffisante même pour tracer des courbes sur du verre enfumé. Dans ces conditions, la plume ne doit plus frotter sur le verre, mais elle doit osciller perpendiculairement au plan de celui-ci, de manière à donner des pointages à ses différentes positions successives. Comme ces pointages sont très-rapprochés les uns des autres, ils constituent dans leur ensemble une ligne continue.

Un autre cas se présente, c'est celui où non-seulement la force motrice est très-minime, mais où les mouvements constituent des vibrations qui se succèdent avec une très-grande rapidité. Dès que le nombre des vibrations qui doit être enregistré en une seconde dépasse trente ou quarante, l'inertie du levier se fait sentir, quelque légèreté qu'on ait essayé de donner à celui-ci. Une nouvelle ressource reste encore, c'est d'étudier les vibrations par la méthode optique de Kœnig, c'est-à-dire au moyen des flammes vibrantes dont l'image se réfléchit dans un miroir tournant. Cette intéressante expérience sera exposée plus tard. J'indiquerai les services qu'elle peut rendre à la physiologie.

Enfin, M. Onimus a institué d'ingénieuses recherches dans lesquelles il a obtenu l'image photographique d'un mouvement rhythmé. Ainsi, dans des battements de cœur des petits animaux, l'organe se contractant et se relâchant tour à tour passe par deux positions extrêmes, l'une de distension, l'autre de resserrement; il revient sans cesse de l'une de ces positions à l'autre, s'arrêtant plus longtemps à chacune d'elles que dans les positions intermédiaires. Il suit de là, que l'image photographique d'un cœur qui se contracte donne assez nettement les contours superposés de l'organe en relâchement et en contraction, et permet de mesurer assez exactement la différence de forme et de volume du cœur dans ces deux conditions

Vous voyez, messieurs, que nous sommes en mesure d'étudier, avec une rigueur jusqu'ici inconnue, ce phénomène essentiellement fugitif du mouvement fonctionnel, et cela quelque faible qu'il puisse être, quelque grande que soit sa rapidité. Voici un point établi : c'est que l'insuffisance de nos sens est suppléée par la puissance des appareils enregistreurs, et qu'on pourrait appeler ceux-ci des microscopes du mouvement, puisqu'ils nous font percevoir des mouvements infiniment petits, infiniment lents ou rapides, tels enfin qu'ils échappent à nos sens d'une manière à peu près complète.

ORIGINE DU MOUVEMENT FONCTIONNEL.

La plupart des fonctions s'accompagnent, vous le savez, de mouvements plus ou moins apparents. Ces mouvements, que les physiologistes et les médecins de l'antiquité attri-

Digitized by Google

buaient à des causes souvent mystérieuses, ou, que plus souvent encore, ils croyaient expliquer par une propriété spéciale de l'organe qui les présentait, sont aujourd'hui mieux connus dans leur cause. On sait, en effet, que presque tous sont engendrés plus ou moins directement par le raccourcissement ou l'allongement d'un tissu spécial que l'on nomme tissu contractile ou musculaire.

Le raccourcissement d'un muscle et son relâchement sont par eux-mêmes des mouvements parfaitement appréciables, mais ils deviennent à leur tour cause de mouvements secondaires qui servent à l'accomplissement d'une fonction. Ainsi la locomotion, qui transporte l'individu d'un point à un autre, emprunte à la contraction musculaire la force qui produit les flexions et extensions successives des leviers osseux, les glissements des surfaces articulaires, en un mot tout le mécanisme de la marche. La respiration, qui à chaque instant apporte l'air dans les poumons et l'en expulse, n'atteint ce résultat qu'à l'aide de certains muscles. La circulation a pour premier moteur un muscle, le cœur, et pour régulateur à la périphérie du corps, les muscles vasculaires. Les battements des artères, que les anciens croyaient expliquer par une *vertu pulsifique* de ces vaisseaux, sont aujourd'hui réellement expliqués comme effets secondaires de la contraction du cœur. Les congestions ou les anémies qui se produisent dans certains organes sont des effets de la contraction ou du relâchement des muscles vasculaires.

Il est donc naturel, dans une étude de la physiologie du mouvement, de commencer par examiner la manière dont se comporte l'appareil moteur; de voir quelle est la nature du mouvement primitif qui s'y produit, afin de saisir comment et sous quelles influences ce mouvement se transforme ou se transmet pour devenir ce que nous le voyons en définitive, quand nous observons les fonctions de l'être vivant.

Aujourd'hui la terminologie est bien fixée relativement à la propriété qui nous occupe. La *contractilité* consiste dans le pouvoir spécial que possèdent les tissus vivants de modifier leurs formes, tandis que le nom d'*élasticité* est réservé à la propriété physique que possède un tissu quelconque organisé ou non de revenir à sa forme lorsqu'on la lui a fait perdre par une pression ou une traction quelconque.

Malgré les efforts des anatomistes et des physiologistes, on n'a pu jusqu'ici ramener à un élément unique l'origine du mouvement. L'observation microscopique nous montre la contraction dans des tissus amorphes et dans des tissus organisés. Les animaux inférieurs, les méduses, par exemple, sont éminemment contractiles, sans qu'on découvre en elles le tissu spécial, qui est le siége de la contraction chez les animaux plus perfectionnés. Les amibes nous montrent la matière contractile sous son apparence la plus singulière, car il n'existe pour cette matière aucune forme déterminée; on la voit dans le champ du microscope prendre spontanément les formes les plus bizarres, sans qu'on puisse saisir d'où lui vient ce mouvement.

Les cils vibratiles de certaines cellules épithéliales présentent une organisation plus avancée; mais, dans leur tissu diaphane, on ne voit encore rien qui par sa forme explique la production du mouvement qui les anime. On en peut dire autant des spermatozoïdes.

Cependant il existe des conditions physiques ou chimiques qui agissent de la même manière sur tout ce qui est contractile. Ainsi, la chaleur augmente la contractilité, le froid la diminue. L'action des alcalis la favorise, celle des acides la détruit. Aussi, malgré l'impuissance des histologistes à ramener le tissu contractile à un élément unique, est-il permis d'admettre qu'une même substance sous des aspects divers est douée de la contractilité.

Pour mieux comprendre les conditions dans lesquelles se produit cette force motrice qu'on appelle contraction, il faut l'étudier dans les tissus où elle est le plus développée, c'est-à-dire dans les diverses espèces de tissus musculaires.

Le microscope nous a révélé deux formes principales de l'élément contractile ou musculaire : la *fibre striée*, appartenant aux muscles de la vie animale, et la *fibre lisse*, qui constitue les muscles de la vie organique. — Ces deux espèces de muscles présentent des différences physiologiques aussi tranchées que leurs caractères histologiques eux-mêmes. Le muscle strié, lorsqu'on excite le nerf qui l'anime, paraît se contracter avec une extrême rapidité et se relâcher aussitôt; le muscle lisse se contracte tardivement, lentement et d'une façon prolongée. On rattache aux muscles de la vie organique ou à fibre lisse un grand nombre de tissus contractiles, d'apparences variées, mais qui tous renferment les cellules caractéristiques des muscles lisses, et de plus partagent leur propriété de se contracter lentement et d'une façon prolongée, tels sont les muscles des vaisseaux et de la plupart des viscères, qui possèdent à un degré plus ou moins manifeste la contractilité.

Cette distinction, établie sur la nature des fibres qui constituent un muscle et sur le mode de contraction de celui-ci, est très-naturelle; cependant elle n'établit pas un caractère tranché d'une manière absolue; certains muscles possèdent des fibres des deux ordres. Ainsi, le cœur, surtout constitué par des fibres striées, renferme pourtant aussi des fibres lisses. L'œsophage est dans le même cas. A cette structure mixte se rattache une fonction mixte elle-même, c'est-à-dire un mode de contraction qui offre un peu de la soudaineté de la contraction de la vie animale, et un peu de la persistance des contractions de la vie organique.

CONTRACTION DES MUSCLES A FIBRES STRIÉES.

C'est dans cet ordre de muscles que les physiologistes ont le mieux étudié le phénomène de la contraction, aussi commencerai-je par exposer les principaux faits découverts à ce sujet.

L'appareil moteur se compose du nerf qui transmet une excitation et du muscle qui se contracte sous l'influence nerveuse. En dehors des actions volontaires qui se transmettent à travers les nerfs moteurs, il y a deux manières de faire contracter un muscle. La première consiste à irriter le nerf qui l'anime, soit par des agents chimiques, soit par l'électricité, le pincement, etc. La seconde est d'agir directement sur le muscle et de porter sur lui des agents de même nature que ceux qui ont servi pour l'irritation du nerf. De là on peut conclure que le nerf moteur possède une *excitabilité* en vertu de laquelle il agit sur le muscle, et que celui-ci est doué de *contractilité* indépendamment de toute action nerveuse. Telle est l'opinion des physiologistes modernes, opinion déjà émise par Haller, mais qui était restée sans preuve suffisante, jusqu'au moment où M. Claude Bernard prouva l'exactitude de cette distinction, en montrant que le curare arrête toute influence du nerf sur le muscle, tout en laissant intacte la contractilité musculaire,

Digitized by Google

Dans les expériences physiologiques, quand on fait agir l'électricité sur les nerfs ou sur les muscles, on remarque ordinairement que la contraction obtenue diffère notablement de celle que l'on observe dans les conditions de l'acte musculaire normal. Une décharge d'électricité statique, l'ouverture ou la rupture d'un courant voltaïque ou même du courant propre des muscles de la grenouille, les irritations mécaniques, etc., produisent dans le muscle une secousse brusque et violente qui ne ressemble en rien aux mouvements gradués et durables que provoque la volonté. En effet, tout semble aujourd'hui prouver qu'une contraction véritable se compose d'une série plus ou moins prolongée de ces convulsions ou *secousses* que produit une excitation isolée; celles-ci sont à la contraction ce qu'une seule oscillation d'une corde tendue est au son proprement dit. Ainsi, de même qu'un son exige pour se produire une série de vibrations d'une certaine fréquence, de même aussi la contraction prolongée est constituée par une série de secousses.

Deux voies différentes ont conduit les physiologistes à cette opinion, qui semble aujourd'hui bien démontrée. D'une part, l'analyse du son produit par les muscles qui se contractent a fait conclure que la contraction s'accompagne de vibrations ou de secousses fréquentes du tissu musculaire. D'autre part, l'expérimentation synthétique a prouvé à d'autres physiologistes que si l'on provoque dans un muscle une série de secousses assez fréquentes, ces muscles paraissent être dans un état de contraction permanent analogue au tétanos.

A. *Études analytiques du bruit musculaire.* — En 1809, le docteur Wollaston s'occupa des sons qu'on perçoit en auscultant un muscle en contraction. Dans le son qui se produit dans ces circonstances, et que nos traités d'auscultation se bornent à signaler sous le nom de bruit musculaire, ou bruit rotatoire, Wollaston sut reconnaître une tonalité, et compara le son musculaire à celui que produit, pendant la nuit, le roulement des voitures de Londres.

Haughton reprit ces recherches et reconnut que certains bruits qui se passaient dans ses oreilles, et qu'il attribuait à la contraction du masséter, présentaient un timbre qu'il rapporte à celui de 32 à 35.

Or, en rapprochant ces évaluations, on trouve une concordance assez frappante; c'est que tous les observateurs attribuent au bruit de contraction musculaire une tonalité qui suppose un nombre de 32 à 35 vibrations par seconde. — Le docteur Collongue, qui s'est occupé des mêmes recherches, a trouvé la même tonalité dans les muscles en contraction, et en soumettant sa remarque à notre habile acousticien Koenig, il a fait déterminer, avec le diapason, la tonalité du son perçu. Or, le diapason qui vibrait à l'unisson du muscle exécutait 32 vibrations par seconde. Nous ne suivrons pas le docteur Collongue dans ses appréciations de la signification du bruit ainsi perçu, bruit auquel il attribue une grande valeur dans le diagnostic des maladies. Il semble donc bien établi que la contraction normale se compose d'environ 32 à 35 secousses musculaires par seconde. J'ai moi-même, après tant d'autres, constaté que telle est en effet la tonalité de mes muscles. Ceux-ci m'ont donné tantôt le *si*, tantôt le *do* de l'octave inférieur d'un piano. Tout le monde peut vérifier cette expérience, qui présente une légère difficulté, celle de bien percevoir la tonalité des sons graves.

B. *Production synthétique de la contraction permanente au moyen d'excitations successives.* — A côté des recherches analytiques dont nous venons de parler, d'autres expérimentateurs, employant la méthode synthétique, démontraient qu'une série de secousses assez fréquentes donnait lieu à la contraction musculaire permanente, ou tétanos. Heidenhain (1848) employa les excitations traumatiques. Il se servit d'un petit marteau qu'une roue dentée faisait mouvoir et qui frappait sur un nerf des coups répétés d'une certaine fréquence. Il vit qu'en donnant à l'appareil une rotation assez rapide, il obtenait, non plus une série de secousses isolées, mais une contraction permanente. — En 1861, Rood obtint une contraction des muscles de l'avant-bras en tenant dans la main un cylindre qui tournait excentriquement autour de son axe avec une grande rapidité. Enfin Helmholtz, après avoir constaté de nouveau que le son produit par la contraction du masséter correspondait à 32 vibrations par seconde, fit agir sur le même muscle une bobine d'induction qui donnait 32 décharges dans le même temps, et vit que le muscle entrait alors en contraction permanente. L'illustre physiologiste reconnut que ce nombre était le minimum nécessaire pour produire l'état permanent de contraction, et de plus, que toute série de décharges induites produit dans un muscle, si elle est assez fréquente, une contraction permanente accompagnée d'un son d'une tonalité plus ou moins élevée, en raison même du nombre des interruptions du courant. Il a pu constater que le son rendu par le muscle est précisément celui que donne en vibrant l'interruption de la machine d'induction.

Vous voyez, messieurs, que les expériences que je viens de citer montrent l'acte musculaire sous un jour entièrement nouveau. Si je vous ai donné cet aperçu sommaire de la fonction de motricité, c'est que je l'ai cru susceptible de vous faciliter l'intelligence des faits de détails que nous allons passer en revue.

Dr MAREY.

BULLETIN DES COURS.

Université de Liége (Faculté des sciences).

CHIMIE INORGANIQUE. — M. Chandelon.
CHIMIE ORGANIQUE. — M. de Koninck.
PHYSIQUE EXPÉRIMENTALE. — M. L. Perard.
BOTANIQUE. — M. Ed. Morren.
ZOOLOGIE. — M. Th. Lacordaire.
MINÉRALOGIE. — M. G. Dewalque.
HAUTE ALGÈBRE. — M. C. E. Catalan.
GÉOMÉTRIE ANALYTIQUE. — M. A. C. de Cuyper.
STATIQUE. — M. L. J. Trasenster.
GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE. — M. J. B. Brasseur.
CALCUL DIFFÉRENTIEL ET INTÉGRAL. — M. C. E. Catalan.
ANATOMIE COMPARÉE. — M. Th. Lacordaire.
PHYSIOLOGIE COMPARÉE. — M. Fossion.
GÉOLOGIE. — M. G. Dewalque.
ASTRONOMIE PHYSIQUE ET MATHÉMATIQUE. — M. A. C. de Cuyper.
PHYSIQUE MATHÉMATIQUE. — M. Gloesener.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE DES COURS SCIENTIFIQUES

DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE — NUMÉRO 13 — 24 FÉVRIER 1866

Paris, 23 février 1866.

M. le Verrier a présenté lundi dernier à l'Académie des sciences, au nom d'un savant étranger, des observations relatives à un tourbillon d'une grande intensité observé à Cherbourg.

M. Charles Sainte-Claire Deville présente une lettre qui a été adressée par un membre de l'expédition scientifique du Mexique, relativement à un tremblement de terre qui vient d'avoir lieu dans ce pays. Il lit ensuite une autre lettre contenant des détails très-intéressants sur l'éruption d'une île volcanique qui vient de se produire dans la baie de Santorin (Archipel). C'est la troisième fois depuis plusieurs siècles que ce phénomène si curieux a été observé dans ces parages.

M. Albert Gaudry a lu un mémoire contenant les résultats des recherches paléontologiques que l'Académie l'avait chargé d'exécuter à Pikermi, près d'Athènes, en 1855 et en 1860. Ces recherches l'ont conduit à établir qu'il existe des formes de transition reliant entre eux bien des animaux fossiles qu'on croyait jusqu'ici parfaitement isolées. La conférence faite il y a deux mois, par M. A. Gaudry, aux Soirées scientifiques de la Sorbonne (V. le n° 5 de la *Revue des cours scientifiques*, 30 déc. 1865), contenait déjà l'indication de ces idées qui touchent à la célèbre théorie de Darwin, sur l'origine et la transformation des espèces, et l'on trouvera dans les figures qui accompagnent cette conférence un des exemples les plus remarquables de ces formes de transition.

La *Revue des cours littéraires* publie aujourd'hui la première des soirées littéraires de l'*Institution royale de la Grande-Bretagne ;* c'est M. Baker qui a parlé des *sources du Nil*, à la découverte desquelles il a pris une grande part. Les soirées scientifiques de la même institution viennent également de commencer ; elles ont été inaugurées par une lecture de M. Tyndall, sur l'*absorption et la radiation*, que nous publierons prochainement. On remarquait, à cette conférence, le comte Russell, M. Gladstone, le comte de Paris, le professeur Faraday, dont l'entrée a été saluée par des applaudissements unanimes, et une foule d'autres notabilités. Depuis que le professeur Faraday a été obligé, par l'âge et sa mauvaise santé, d'abandonner la scène de ses triomphes, personne plus que M. Tyndall ne sait attirer et intéresser la foule qui se presse aux leçons de l'éminent physicien, dont les nombreux et importants travaux ont répandu le nom dans toute l'Europe. E. A.

SOIRÉES SCIENTIFIQUES DE LA SORBONNE.

CONFÉRENCE DE M. BRIOT.

Les comètes.

Les comètes ont eu de tout temps le privilége d'attirer vivement l'attention ; leurs apparitions subites, leur marche rapide à travers les cieux, la grandeur et l'éclat de leurs queues, qui les font ressembler à des torches ou à des épées flamboyantes, tout en elles devait frapper fortement l'imagination.

Il n'y a pas longtemps, les comètes répandaient la terreur parmi les hommes ; on les regardait comme des signes de la colère divine ; elles présageaient les plus grands malheurs. Aujourd'hui, que nous connaissons les lois de leurs mouvements, et que nous les observons sans crainte, l'étude de leur constitution physique, la prédiction de leurs retours périodiques à de longs intervalles, les changements qu'elles éprouvent, en font un des objets les plus intéressants de l'astronomie.

Les grandes comètes visibles à l'œil nu se composent en général d'une masse arrondie de matière nébuleuse, qu'on nomme *tête* de la comète, au centre de laquelle on aperçoit une condensation de matière, ou un *noyau* brillant. La nébulosité qui entoure la tête, ou la *chevelure*, se prolonge en arrière, de manière à former une immense traînée de lumière, que l'on appelle *queue* de la comète. Je citerai comme exemple la grande comète de 1811. D'après les mesures d'Herschel, le diamètre de la tête était de 450 000 lieues, ou 120 fois le diamètre de la terre, 4 fois la distance de la lune à la terre. Sa queue avait 40 millions de lieues de longueur et 6 millions de lieues de largeur ; sa longueur était plus grande que la distance de la terre au soleil. Cette comète parut dans l'automne de 1811 ; son noyau était d'un rouge pâle, et la nébulosité qui l'entourait avait une teinte verte. Cette comète est restée célèbre par l'excellent vin que l'on fit dans l'année de son apparition ; elle brilla d'un vif éclat pendant un

Digitized by Google

le temps des vendanges ; on appelle aujourd'hui encore le vin de 1811, vin de la comète.

Fig. 53. — Comète de 1811 (d'après l'*Astronomie* de M. A. Boillot (1).

La grande comète de 1843 avait une queue encore plus longue que celle de 1811 ; au moment de son plus grand développement, elle avait 80 millions de lieues de longueur, le double de la distance du soleil à la terre.

La queue des comètes présente souvent une courbure très-marquée ; la comète de 1858 était remarquable sous ce rapport. Les points brillants que vous apercevez dans le ciel et dans la queue de la comète sont des étoiles. On aperçoit, en effet, les plus petites étoiles à travers les queues des comètes, comme à travers un rideau transparent, sans que leur éclat en soit sensiblement diminué, et même les rayons lumineux qui viennent des étoiles et qui traversent toute l'épaisseur de la queue n'éprouvent pas de déviation sensible. Il faut donc que les comètes soient composées d'une matière extrêmement subtile, d'une ténuité plus grande que les vapeurs les plus légères qui flottent dans l'atmosphère.

Fig. 54. — Comète de Donati, le 3 octobre 1858, d'après Bond (d'après l'*Espace céleste et la nature tropicale* de M. Emm. Liais).

Cet aspect des comètes avait conduit les anciens à les regarder comme des météores se formant dans la région supérieure de l'air. Telle était l'opinion d'Aristote : il croyait que les comètes étaient produites par des exhalaisons qui s'élèvent de la surface de la terre, et qui montent jusqu'à la limite supérieure de l'air, où elles s'assemblent en amas sphériques par suite de la rotation de la voûte céleste ; que là, dans le voisinage de la région du feu et par l'action du soleil, ces exhalaisons prennent feu ; la flamme produite par cet embrasement est la queue de la comète. Quand la combustion est opérée, la flamme s'éteint, et la comète cesse d'exister.

Sénèque avait une opinion plus juste de la nature des comètes ; d'après une opinion qu'il fait remonter aux anciens Chaldéens, il regardait les comètes, non comme des météores passagers, mais comme des astres éternels, semblables aux planètes et aux étoiles : « Elles nous apparaissent lorsqu'elles descendent vers nous, et disparaissent lorsqu'elles retournent dans leur propre région, et se replongent dans le profond abîme de l'éther, comme les poissons au fond de la mer. Cessons donc de nous étonner, ajoute Sénèque, si les lois du mouvement des comètes ne sont point encore complétement développées ; elles paraissent si rarement et leurs retours périodiques se fait si longtemps attendre. Comment pourrions-nous en avoir une parfaite connaissance, nous qui commençons à peine à connaître la cause des éclipses ? Le temps viendra qu'une application assidue nous aura dévoilé ces vérités qui nous sont maintenant cachées. »

Cependant l'opinion d'Aristote prévalut pendant tout le moyen âge, et l'on y ajouta toutes les rêveries de l'astrologie ; puisqu'on attribuait aux astres une influence directe sur nos destinées et sur la marche de nos affaires, les comètes, ces astres si étranges, devaient nécessairement jouer un grand rôle ; elles produisaient la sécheresse, la famine, la corruption de l'air, les maladies ; elles annonçaient la mort des princes, le bouleversement des États.

Képler, un des plus grands génies qui aient existé, lui

(1) Ne pouvant faire graver, en temps utile, tous les dessins préparés pour la conférence de M. Briot, d'après les observations de MM. Struve, Winnecke, Herschell, nous les remplaçons par des figures représentant les observations d'autres astronomes.

Digitized by Google

qui a découvert les lois du mouvement des planètes autour du soleil, et ouvert la voie à Newton, partageait à cet égard les erreurs de son temps. Ses idées sur la nature des comètes sont encore plus singulières que celles d'Aristote. «Le ciel, dit-il dans un ouvrage sur les comètes imprimé en 1619, le ciel est plein de comètes comme la mer de poissons. Elles ne sont point éternelles comme l'a pensé Sénèque; elles sont formées de la matière céleste. Cette matière n'est pas toujours pure; il s'y assemble souvent comme une espèce de crasse qui obscurcit l'éclat du soleil et de la lune. Il faut donc que l'éther se purifie et se décharge de cette espèce d'excrément; cela se fait par le moyen d'une faculté animale ou vitale inhérente à la substance même de l'éther. Cette matière crasse se rassemble sous la figure sphérique; c'est la tête d'une comète, le soleil la frappe de ses rayons qui pénètrent à travers sa masse, la transforment en matière subtile, et sortent pour former au delà cette trace de lumière que nous appelons queue de la comète. Ainsi la comète se consume, en expirant pour ainsi dire sa queue.»

Cependant les idées astrologiques commençaient à être vivement attaquées. «Oui, disait Gassendi, au commencement du règne de Louis XIV, oui, les comètes sont réellement effrayantes, mais par notre sottise. Nous nous forgeons gratuitement des objets de terreur panique, et, non contents de nos maux réels, nous en accumulons d'imaginaires.»

«Plût à Dieu, disait Éraste un siècle plus tôt, que les guerres n'eussent d'autre cause que la bile des souverains, échauffée par quelque comète. Un habile médecin, avec quelque dose de rhubarbe ou de sirop de rose, ramènerait bientôt les douceurs de la paix!»

Il était réservé à Newton de débarrasser définitivement l'esprit humain des chimères de l'astrologie, en nous faisant connaître le vrai système du monde, et la nature des comètes. Le livre des *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* parut en 1687; c'est une date mémorable dans l'histoire de la science; dans ce livre immortel, le plus beau monument du génie de l'homme, Newton nous révèle la cause intime des phénomènes célestes, le ressort caché qui met en jeu tout le mécanisme, la force qui anime l'univers, y crée et y maintient l'harmonie, l'attraction universelle. Mais il nous faut pénétrer avec Newton dans les mystères de la mécanique céleste; la question est délicate, le chemin difficile et ouvert seulement aux initiés. J'ai besoin, messieurs, de toute votre attention. Je ferai tous mes efforts pour être aussi clair que possible, et pas trop long.

Comme je le disais tout à l'heure, Képler avait, cinquante ans auparavant, découvert par l'observation les lois du mouvement des planètes. Ces lois sont au nombre de trois. Képler reconnut d'abord que les planètes décrivent dans l'espace des ellipses dont le soleil occupe l'un des foyers. L'ellipse est une courbe arrondie qui jouit de la propriété suivante: il existe à l'intérieur de l'ellipse deux points fixes, qu'on appelle *foyers* de l'ellipse, et tels que tous les chemins qui vont d'un foyer à l'autre, en touchant un point quelconque de l'ellipse, sont égaux entre eux. Les planètes décrivent des courbes de cette espèce; le soleil est placé à l'un des foyers: il n'y a rien à l'autre foyer; ce second foyer est un point purement géométrique. La ligne droite qui passe par les deux foyers, et qui divise l'ellipse en deux parties égales, s'appelle le grand axe de l'ellipse.

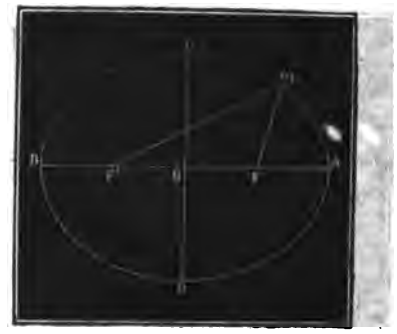


Fig. 55. — Ellipse.

Quand une planète décrit son ellipse, sa distance au soleil varie. Cette distance est la plus petite possible, quand la planète passe à l'une des extrémités du grand axe, qu'on nomme pour cette raison le *périhélie*. Au contraire, la planète est le plus loin possible à l'autre extrémité du grand axe, à l'*aphélie*.

L'ellipse a une forme plus ou moins allongée, selon que ses foyers sont plus ou moins écartés l'un de l'autre. Lorsque les foyers sont rapprochés, l'ellipse est arrondie et diffère très-peu d'un cercle; les planètes décrivent des ellipses comme celles-là; dans l'ellipse que décrit la terre autour du soleil, la distance des foyers n'est que la soixantième partie de la longueur du grand axe; cette distance, très-petite en astronomie, est de 500 000 lieues. Au contraire, quand les deux foyers sont très-écartés l'un de l'autre, l'ellipse est très-allongée; nous verrons bientôt que les comètes décrivent des ellipses de cette sorte.

Les planètes ne se meuvent pas sur leurs ellipses d'un mouvement uniforme; leur vitesse varie; elle est d'autant plus grande que la distance au soleil est plus petite. Képler énonce la loi de cette variation de la vitesse, en disant que la droite qui va du soleil à la planète décrit, dans des temps égaux, des portions de surface égales entre elles. Les petits triangles décrits chaque jour par la droite, pendant toute la durée de la révolution, ont tous même surface; si la longueur de la droite est plus petite, il faut, par compensation, pour que la surface reste la même, que l'ouverture de l'angle soit plus grande, et par conséquent que le mouvement soit plus rapide. Ainsi c'est au périhélie que la vitesse est la plus grande, à l'aphélie qu'elle est la plus petite. Telle est la seconde loi de Képler.

Digitized by Google

En comparant les temps des révolutions des planètes et les longueurs des grands axes des ellipses qu'elles décrivent, Képler a reconnu qu'il existe une liaison entre ces deux quantités ; plus l'axe est grand, plus le temps de révolution est long. Voici quelle est la troisième loi de Képler : Si l'on compare deux planètes — pour plus de précision, comparons à la terre une planète quelconque, — cherchons combien de fois le

FIG. 56. — Ensemble des trajectoires du système solaire (d'après l'*Astronomie* de M. A. Boillot).

temps de la révolution de la planète contient le temps de la révolution de la terre, ou l'année; cherchons, d'autre part, combien de fois le grand axe de l'ellipse de la planète contient le grand axe de l'orbite terrestre ; nous avons deux nombres : le premier, multiplié une fois par lui-même, est égal au second multiplié deux fois successivement par lui-même. En d'autres termes, si l'on prend pour unité de temps l'année, et pour unité de longueur le grand axe de l'orbite terrestre, on peut dire que le temps de la révolution de la planète, multiplié par lui-même, est égal au grand axe de son orbite multiplié deux fois successivement par lui-même. Par exemple, pour Jupiter, le temps de la révolution est de douze années; son grand axe est 5 fois $\frac{2}{10}$ plus grand que le grand axe de l'orbite terrestre ; si l'on multiplie 12 par lui-même, on a 144; et si l'on multiplie 5 et $\frac{2}{10}$ deux fois successivement par lui-même, on obtient aussi 144.

Voici un petit mécanisme qui représente l'ensemble du système du monde : Au centre est le soleil, à côté Mercure qui accomplit sa révolution en quatre-vingt-huit jours; viennent ensuite Vénus, la Terre, Mars, le groupe nombreux des petites planètes, Jupiter, qui accomplit sa révolution en douze années; Saturne en trente ans, Uranus en quatre-vingt-quatre ans, et enfin Neptune, la planète découverte par M. Leverrier, la plus éloignée de toutes celles que nous connaissions jusqu'à présent, en cent soixante-cinq ans.

Telles sont les trois célèbres lois de Képler, sur lesquelles repose tout l'édifice de l'astronomie moderne. Newton en a déduit la loi de l'attraction universelle; il en a conclu que la force qui produit le mouvement des planètes est une force attractive, émanant du soleil, et variant en raison inverse du carré des distances; c'est-à-dire que si la distance de la planète au soleil est deux fois plus grande, l'attraction est deux fois deux fois, ou quatre fois plus petite; si la distance est trois fois plus grande, l'attraction est trois fois trois fois, ou neuf fois plus petite.

Newton se posa ensuite le problème inverse; il se demanda quelle courbe un astre doit décrire, soumis à l'attraction du soleil. Il trouva que cette courbe peut

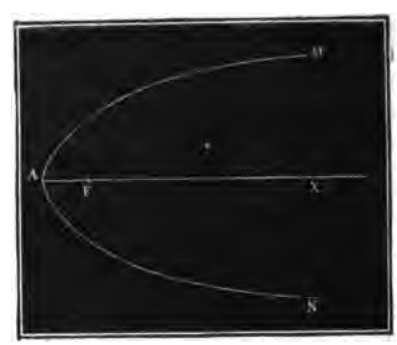


FIG. 57. — Parabole.

être, non-seulement une ellipse arrondie, comme celles décrites par les planètes, mais encore une ellipse aussi allongée qu'on voudra; et même la courbe peut être une courbe non fermée, une des deux courbes qu'on appelle *hyperbole* et *parabole*, et qui ont une grande analogie avec l'ellipse.

Dès lors, Newton fut amené à penser que les comètes n'étaient pas des météores passagers, comme le croyaient Aristote et Képler, mais des astres éternels faisant partie de notre système, soumis comme les planètes à l'attraction du soleil, décrivant comme elles des ellipses dont le soleil occupe un foyer commun; seulement, tandis que

Digitized by Google

les planètes décrivent des ellipses très-arrondies, situées toutes à peu près dans le même plan et dans le même sens, les comètes décrivent des ellipses très-allongées, et dans des directions quelconques. Les comètes ne sont pas lumineuses par elles-mêmes; comme les planètes, elles sont éclairées par les rayons du soleil, et, quand elles s'éloignent de cet astre, leur éclat diminue très-rapidement. Elles nous apparaissent si rarement, parce que nous ne les voyons que dans la partie de leur orbite la plus voisine du soleil, puis elles s'éloignent de nous, et disparaissent dans l'éloignement, pour ne revenir qu'après plusieurs années et même plusieurs siècles.

Voici un autre mécanisme qui vous représentera le mouvement des comètes autour du soleil, d'après les idées de Newton. La comète apparaît d'abord sous une forme arrondie; sa queue augmente peu à peu à mesure

FIG. 58. — Comète de Donati, le 6 décembre 1858 (d'après l'*Espace céleste et la nature tropicale* de M. Emm. Liais).

qu'elle s'approche du soleil, et diminue ensuite à mesure qu'elle s'en éloigne; la queue est toujours dirigée à l'opposé du soleil, comme si un souffle, partant du soleil, repoussait les vapeurs légères qui forment la chevelure et les rejetait en arrière, du côté opposé au point d'où part ce souffle répulsif. Vous voyez, en outre, que le mouvement s'accélère et devient très-rapide dans le voisinage du périhélie, puis qu'il se ralentit quand la comète s'éloigne du soleil.

Il suffit de trois observations pour déterminer complétement l'orbite d'une planète ou d'une comète. Le calcul réussit très-bien, quand il s'agit d'une planète ou d'une comète dont l'ellipse n'est pas très-allongée; mais pour les comètes dont l'ellipse est très-allongée, il se présente une grande difficulté. Nous ne voyons, en effet, que la partie de l'orbite la plus voisine du soleil; on comprend que l'observation d'un arc aussi petit ne permette pas de déterminer avec une précision suffisante la partie très-éloignée de l'orbite; par conséquent, on ne peut pas trouver exactement la longueur du grand axe, et par suite, le temps de la révolution. L'arc observé est à peu près le même que si le grand axe était infini, c'est-à-dire que si l'on remplaçait l'ellipse par une parabole; car on appelle parabole une ellipse dont le grand axe augmente indéfiniment. Vous voyez sur le tableau une ellipse qui se change en parabole par l'augmentation indéfinie de son grand axe; les deux courbes, dans le voisinage du soleil, diffèrent extrêmement peu l'une de l'autre. Newton, pour simplifier le calcul, suppose que l'arc observé appartient à une parabole. C'est ce qu'on appelle calculer l'orbite parabolique d'une comète. Il est clair que la parabole ne représente approximativement la route de la comète que dans le voisinage du soleil.

Newton trouva bientôt l'occasion d'appliquer sa méthode; en 1680 parut une comète; on la vit pour la première fois le 14 novembre; elle se rapprocha très-rapidement du soleil, et se plongea dans ses rayons le 5 décembre. Dix-sept jours après, le 22 décembre au soir, on vit sortir des rayons du soleil une des plus grandes, des plus magnifiques comètes dont on ait conservé le souvenir. Newton montra que les deux arcs observés, séparés par un intervalle de dix-sept jours, appartiennent sensiblement à la même parabole, c'est-à-dire à la même ellipse extrêmement allongée.

Mais comment déterminer l'ellipse entière, et, par conséquent, prédire le retour de la comète? Il faut, dit Newton, calculer les orbites, ou les portions d'orbites, pour toutes les comètes observées jusqu'à présent; et, quand une comète nouvelle apparaît, calculer son orbite et la comparer aux orbites déjà calculées. Si l'on voit que la comète nouvelle suit à peu près la même route qu'une des comètes déjà observées, il est probable que c'est la même comète qui est revenue. L'intervalle entre les deux apparitions donne le temps de la révolution; et, d'après la troisième loi de Képler, on pourra en déduire la longueur du grand axe. L'ellipse entière étant ainsi connue, il sera facile de suivre par la pensée la comète sur toute sa route et de prédire son retour.

Halley, contemporain et ami de Newton, entreprit cette vaste recherche; il appliqua la méthode de Newton à vingt-quatre comètes qui, avant lui, avaient été observées avec assez de soin, et en calcula les orbites paraboliques. Il fut bientôt récompensé de ses peines. En 1682, deux ans après la comète de Newton, parut une belle comète, qui fut observée dans toute l'Europe. Halley calcula aussitôt son orbite; la comparant avec celles qu'il avait calculées précédemment, il vit, avec une joie facile à comprendre, que la comète avait suivi à peu près la même route que la comète de 1607, observée soixante-quinze ans auparavant par Képler, et que celle de 1531, observée soixante-seize ans auparavant par Appian, astronome de l'empereur Charles-Quint. Il en conclut que les trois comètes de 1531, de 1607 et de 1682 étaient des apparitions successives de la même comète, décrivant un orbite elliptique, et accomplissant sa révolution

Digitized by Google

en soixante-seize ans environ. Le temps de la révolution étant connu, il détermina la longueur du grand axe de l'ellipse, à l'aide de la troisième loi de Képler; le calcul est extrêmement facile; le temps de la révolution est de soixante-seize années; ce nombre 76 multiplié par lui-même donne 5800; il s'agit de trouver un nombre qui, multiplié 2 fois par lui-même, donne également 5800; ce nombre est 18. Ainsi, le grand axe de l'ellipse décrite par la comète est dix-huit fois plus grand que le grand axe de l'orbite terrestre, que nous avons pris pour unité. Halley parvint de cette manière à déterminer l'orbite entière de la comète, à fermer la courbe en quelque sorte. Voici une figure qui représente les orbites des principales planètes, et celle de la comète de Halley. Les ellipses décrites par les planètes sont très-arrondies. Cette autre ellipse, très-allongée, est l'orbite de la comète de Halley; nous ne voyons qu'une partie de sa route, celle qui est voisine du soleil. Au périhélie, au point le plus rapproché du soleil, la comète de Halley est à une distance du soleil égale à la moitié de la distance du soleil à la terre. Elle s'en éloigne ensuite jusqu'à sortir de l'orbite de Neptune; sa distance au soleil est 60 fois plus grande à l'aphélie qu'au périhélie. Les planètes se meuvent toutes dans le même sens; la comète de Halley se meut en sens contraire.

Après avoir ainsi déterminé l'ellipse entière, Halley n'hésita pas à prédire son retour; elle devait revenir en 1757 ou en 1758; mais Halley, remarquant que la comète devait passer très-près de Saturne et de Jupiter, — comme vous le voyez sur la figure, — pensa qu'elle serait troublée dans sa marche par l'attraction de ces deux grosses planètes, et il annonça que le retour au périhélie serait probablement retardé jusqu'au commencement de l'année 1759.

Une telle prédiction ne pouvait manquer d'attirer l'attention des astronomes; et, quand l'époque fixée par Halley approcha, il devenait extrêmement intéressant de savoir si la comète serait effectivement troublée dans sa marche par l'attraction de Jupiter et de Saturne, et de calculer l'étendue des perturbations. Le géomètre français Clairaut, dont M. Bertrand vous a raconté l'autre jour avec tant d'esprit la biographie (1), entreprit ce grand travail; il fut aidé, dans les énormes calculs que nécessite une semblable recherche, par le célèbre astronome Lalande, et par une dame d'un grand mérite, madame Lepaute, la femme du plus habile horloger de ce temps. Après trois mois d'un travail commun, le 4 novembre 1758, Clairaut publia les résultats auxquels il était arrivé; il annonça que la comète serait retardée de 100 jours par l'attraction de Saturne, de 580 jours par celle de Jupiter, ce qui fait en tout un retard de 680 jours; et en conséquence il fixa le retour de la comète au périhélie au 13 avril 1759. Cependant Clairaut ajoutait que, pressé par le temps, il avait négligé de petites quantités qui pourraient produire ensemble une variation de un mois, dans un sens ou dans l'autre. La comète fut aperçue pour la première fois le 25 décembre 1758, et passa au périhélie le 12 mars, un mois avant l'époque fixée par Clairaut. Une différence d'un mois sur une période de soixante-seize ans est bien peu de chose, et la théorie de Newton recevait ainsi une éclatante confirmation.

La comète devait revenir en 1835; plusieurs mathématiciens se mirent à l'œuvre et calculèrent les perturbations nouvelles éprouvées par la comète pendant sa dernière révolution. M. Damoiseau fixa au 4 novembre le retour de la comète au périhélie, M. Rosenberger au 11, M. de Pontécoulant au 12 novembre. La comète fut aperçue pour la première fois le 5 août, elle suivit presque sans déviation la route qui lui avait été assignée par le calcul, et passa au périhélie le 16 novembre, quatre jours après l'époque fixée par M. de Pontécoulant. Dans l'état actuel de nos connaissances, on ne pouvait espérer un accord plus parfait.

Elle reviendra en 1910; M. de Pontécoulant, dont le zèle est infatigable, a déjà calculé les nouvelles perturbations, et a fixé le retour de la comète au périhélie au 18 mai 1910. Mais il vaut mieux attendre, pour faire les calculs, que le moment approche, parce que nous connaîtrons mieux alors les masses des planètes perturbatrices. Il est probable que la différence entre le temps calculé et le temps observé ne sera plus que de quelques heures.

A son apparition en 1835, la comète de Halley a été observée avec beaucoup de soin par plusieurs astronomes, et leurs observations nous ont fourni des indications précieuses sur la constitution physique des comètes. La comète fut aperçue, pour la première fois, le 5 août sous le ciel pur de Rome; elle devint visible pour toute l'Europe vers le 20. Après son passage au périhélie, le 16 novembre, elle fit route vers le sud, et cessa d'être visible pour l'Europe; mais elle continua d'être observée pendant les premiers mois de 1836 par John Herschel, qui était alors installé au cap de Bonne-Espérance avec les puissants télescopes de son père, et qui suivit la comète jusqu'au 5 mai, où elle disparut dans l'éloignement.

La comète, au commencement de son apparition, présentait une forme arrondie, sans aucune trace de queue; c'était une nébuleuse pâle, entourant un noyau plus brillant, placé, non pas exactement au centre, mais un peu du côté du soleil. Tel était encore son aspect le 23 septembre, cinquante jours après sa première apparition; le 29 septembre, six jours après, on commence à voir une petite queue; c'est une lueur faible et mal définie sur les bords. — Le 3 octobre, la queue a grandi. Le développement de la queue devient de plus en plus rapide; elle continue à grandir jusqu'à la fin d'octobre, et en même temps la tête diminue; ceci prouve d'une

(1) Voy. la conférence de M. Bertrand sur Clairault, dans le n° 4 (23 décembre 1865).

Digitized by Google

manière certaine que la queue de la comète se forme aux dépens de la tête. Ce sont les vapeurs de la chevelure qui, rejetées en arrière, forment cette traînée

Fig. 59. — Comète de Halley (d'après l'*Espace céleste et la nature tropicale* de M. Emm. Liais).

immense. Après le passage au périhélie, un phénomène inverse se produit; à mesure que la comète s'éloigne du soleil, la tête attire à elle les vapeurs qui forment la queue; son volume augmente, et elle reprend enfin la forme arrondie qu'elle avait au commencement.

Étudions maintenant, à l'aide de puissants grossissements, la constitution de la tête. Je choisirai de préférence les observations faites par Guillaume Struve, l'illustre astronome de Poulkowa, avec l'excellente lunette de Frauhenhofer, l'une des meilleures, assurément, qui aient été construites jusqu'à présent. Le 8 octobre, on aperçoit dans la tête, et partant du noyau, une flamme brillante, qui s'étend en éventail, du côté du soleil; cette flamme se développe, et devient de plus en plus vive. Le 12 octobre, quatre jours après, la flamme présentait, dit Struve, un aspect merveilleux; le noyau avait une forme allongée; il brillait comme un charbon ardent; de ce noyau s'élance un trait de feu du côté du soleil; un jet beaucoup plus faible sort du côté opposé. Quelques jours après, le 29 octobre, la tête présentait un aspect tout à fait remarquable; outre l'aigrette lumineuse, on voit deux longues traînées brillantes qui partent du noyau latéralement et s'en éloignent, de chaque côté, en s'infléchissant pour se perdre dans la chevelure du côté de la queue. Il semble que l'on assiste ici au phénomène de la formation de la queue. Remarquons que la comète à l'aphélie est à une distance du soleil soixante fois plus grande qu'au périhélie; par conséquent la quantité de chaleur qu'elle reçoit du soleil est 3600 fois plus grande au périhélie qu'à l'aphélie; vous comprenez quelle énorme variation de température doit éprouver la comète. La variation est surtout très-rapide dans le voisinage du périhélie, à cause de l'accélération du mouvement. Quand la comète s'approche du soleil, elle s'échauffe fortement; le noyau, devenu incandescent, lance des jets de vapeur du côté du soleil, là où il est frappé de ses rayons; ces jets de vapeur se mêlent à la chevelure, et toute la nébulosité, rejetée en arrière par le souffle répulsif partant du soleil, forment la queue, qui s'allonge de plus en plus.

Après le passage au périhélie, le phénomène inverse a lieu, la comète s'éloigne du soleil et se refroidit. Voici quel était l'aspect de la comète le 31 janvier, d'après les observations de John Herschel au cap de Bonne-Espérance : Les vapeurs qui composent la queue se condensent, pour former la ligne brillante que vous voyez au milieu, et reviennent à la tête comme par un canal intérieur; la queue se ramasse de plus en plus, et la comète reprend la forme arrondie.

Telle est, messieurs, la célèbre comète de Halley, la première dont nous ayons reconnu la périodicité, et qui a servi à constituer la théorie des comètes. La plupart de ses anciennes apparitions sont consignées dans l'histoire. Elle apparut en 451, l'année où Attila, roi des Huns, celui que l'on a surnommé le fléau de Dieu, après avoir ravagé la Gaule, fut battu dans les plaines de Châlons par le général romain Aetius, aidé des Francs et des Visigoths. Elle parut en 1066, l'année de la conquête de l'Angleterre par les Normands; elle frappa de terreur les habitants de cette île, qui y virent le présage de leur défaite. Mais la plus célèbre de ses apparitions est celle de 1456, trois ans après la prise de Constantinople par les Turcs. L'Europe était encore en proie à l'émotion produite par cette terrible nouvelle; on racontait que l'église de Sainte-Sophie avait été convertie en mosquée, que tout un peuple chrétien avait été égorgé ou réduit en captivité; on tremblait pour le salut de la chrétienté. La comète parut en juin 1456; elle était grande et terrible, disent les historiens du temps, sa queue recouvrait deux signes célestes, c'est-à-dire 60 degrés; elle avait une brillante couleur d'or, et présentait l'aspect d'une flamme ondoyante. On y vit un signe certain de la colère divine, un présage des malheurs qui menaçaient l'Europe. Dans un si grand danger, le pape Calixte III ordonna que les cloches de toutes les églises fussent sonnées chaque jour à midi, et il invita les fidèles à dire une prière pour conjurer la comète et les Turcs. Cet usage s'est conservé chez tous les peuples catholiques, bien que nous n'ayons plus guère peur des comètes et encore moins des Turcs.

La seconde comète, dont on avait reconnu la périodicité, est la comète d'Encke. Elle fut observée en 1818 par Pons, à Marseille; c'est une comète à courte période; Encke calcula immédiatement l'ellipse entière par cette seule apparition. La période est de trois ans et un quart; l'ellipse est petite et renfermée dans l'orbite de Jupiter. Cette comète avait déjà été observée plusieurs fois, notamment en 1795, par miss Caroline Herschel, sœur de l'illustre William Herschel, et qui, en aidant son frère, était devenue elle-même un très-habile astronome. Elle a été revue bien des fois depuis 1818; c'est une comète télescopique, rarement visible à l'œil nu; on ne voit pas trace de queue, sauf de rares exceptions; elle présente une forme arrondie, semblable à un œuf. Voici quel était l'aspect de la comète, le 10 novembre 1838 : deux jours après, elle s'était un peu déformée; on voit naître, du côté opposé au soleil, comme un commencement de

Digitized by Google

queue; mais la déformation n'alla pas plus loin. Cette comète, peu remarquable en elle-même, a révélé un fait d'une importance extrême pour la science. En comparant ses apparitions successives, Encke reconnut une diminution marquée dans le temps de la révolution, et par conséquent, une diminution correspondante dans les dimensions de l'ellipse; il fit voir qu'il est impossible d'expliquer ce rétrécissement progressif, continu de l'ellipse, par les perturbations que la comète éprouve de la part des planètes. A quelle cause l'attribuer? Les physiciens, pour expliquer les phénomènes lumineux, admettent qu'un fluide élastique très-subtil est répandu dans l'espace et pénètre tous les corps; ce fluide, qu'ils nomment éther, sert à propager les vibrations lumineuses. Ce fluide, très-subtil, n'oppose pas de résistance sensible au mouvement des planètes qui ont de grosses masses; mais son action sur les vapeurs légères, qui forment les comètes, peut devenir appréciable. On comprend que la résistance d'un milieu ait pour effet de diminuer graduellement les dimensions de la courbe, et par conséquent le temps de la révolution. C'est ainsi que Encke a expliqué la diminution progressive de l'ellipse décrite par sa comète, et cette explication a été admise généralement. Mais si cet effet se continue indéfiniment, si l'ellipse se rétrécit de plus en plus, on arrive à cette conséquence inévitable, c'est que, après un nombre de révolutions suffisant, la comète finira par tomber sur le soleil.

La troisième comète dont on ait reconnu la périodicité est celle de Biéla; elle fut observée en 1826, à quelques jours d'intervalle, par Biéla en Bohême, et par Gambart à Marseille; on calcula immédiatement, par cette seule apparition, son orbite elliptique et le temps de sa révolution, qui est de six ans trois quarts. Olbers, calculant son retour pour 1832, remarqua que la comète devait percer le plan de l'orbite terrestre en un point très-voisin de l'ellipse elle-même, assez voisin pour que la nébulosité de la comète atteigne la courbe décrite par la terre. Dès lors, il y avait possibilité de rencontre entre la comète et la terre; toute la question était de savoir si les deux astres passeraient en même temps au point critique, c'est-à-dire au point de croisement de leurs orbites. Or, d'après les calculs d'Olbers, la comète devait passer en ce point le 29 octobre, et la terre n'y arrivait que le 30 novembre au soir. C'était un intervalle d'un mois, plus qu'il ne faut pour éviter toute collision. Mais, je dois le dire, les esprits n'étaient pas très-rassurés; on n'avait pas une confiance absolue dans les calculs des astronomes; ils pouvaient bien, disait-on, se tromper d'un mois, et Dieu sait quel bouleversement en résulterait! Heureusement, la comète suivit fidèlement la route qui lui avait été assignée, et tout se passa sans encombre.

La comète de Biéla ne fut pas aperçue en 1839, mais, à son retour, en 1845, elle présenta un phénomène très-singulier, un phénomène dont on n'avait pas encore d'exemple, son dédoublement en deux astres distincts. Jusqu'alors elle s'était montrée simple, sous la forme d'une nébulosité arrondie, semblable à la comète d'Encke. A son retour, en 1845, elle reparut simple; elle était encore telle le 19 décembre, seulement elle s'était allongée en forme de poire, mais on ne fit pas attention à cette déformation, assez commune chez les comètes télescopiques. Le 29 décembre, dix jours après, on fut très-étonné de la voir double; dans l'intervalle du 19 au 29 décembre, elle s'était séparée en deux parties de grandeur inégale, ayant chacune une petite queue dans la direction ordinaire, c'est-à-dire du côté opposée au soleil. La comète principale, et sa compagne plus petite, marchèrent ainsi côte à côte, jusqu'au moment où elles cessèrent d'être visibles. A l'apparition suivante, en 1852, on revit la comète double; seulement les deux parties avaient pris chacune la forme arrondie. On ne l'a pas revue en 1859. On l'attendait avec impa-

Fig. 60. — Comète de Biéla, le 19 février 1846, d'après W. Struve (d'après l'*Espace céleste et la nature tropicale* de M. Emm. Liais).

Fig. 61. — Comète de Biéla, le 21 février 1846, d'après W. Struve (d'après l'*Espace céleste et la nature tropicale* de M. Emm. Liais).

Digitized by Google

tience ces jours derniers; elle devait passer au périhélie le 29 décembre; il a été impossible de l'apercevoir, malgré les nombreuses et puissantes lunettes occupées à sa recherche. Les astronomes commencent à être inquiets. Lui serait-il arrivé malheur en route?

On connaît encore quelques autres comètes périodiques : la comète de Faye, dont la période est de sept ans et demi; elle a été découverte par M. Faye, en 1843, et revue en 1851, en 1858 et en 1866; elle a été revue il y a quelques jours, et prise d'abord pour la comète de Biéla; la comète de Brorsen, dont la période est de treize ans et demi; la comète de d'Arrest, dont l'orbite a été calculée par M. Yvon Villarceau, et dont la période est de six ans et demi.

Le nombre des comètes est très-considérable; il s'élève certainement à plusieurs milliers; on a calculé les orbites, ou plutôt les portions d'orbites, de deux cents d'entre elles. La plupart, sans doute, sont périodiques; pour les unes, la période est de quelques années, pour d'autres, d'un siècle; on estime la période de la comète de Newton à 575 ans. Mais il peut arriver qu'une comète périodique, passant dans le voisinage des grosses planètes et Jupiter, comme l'a remarqué Herschel, semble placé là tout exprès pour troubler les comètes dans leur marche et les déranger de leur route, — il peut arriver qu'une comète éprouve une perturbation telle que son orbite en devienne méconnaissable; il peut arriver même que l'ellipse soit changée en une courbe non fermée, en une parabole ou en une hyperbole; dans ce cas, la comète s'éloigne indéfiniment du soleil, pour se perdre dans l'espace, ou aller tourner autour d'un autre soleil.

La fameuse comète de Lexell paraît avoir éprouvé quelque aventure de ce genre. Elle parut en 1770 et fut observée par Messier avec un grand soin. Lexell calcula l'orbite complète, et trouva que le temps de la révolution était de cinq ans et demi. On s'étonnait qu'une comète à si courte période, et assez brillante, n'eût pas encore été observée auparavant; Lexell fit remarquer que trois ans avant, en 1767, la comète avait passé très-près de Jupiter, à une distance assez petite pour que l'attraction de Jupiter, devenue prépondérante, ait complétement changé l'orbite de la comète et réduit sa période, qui était auparavant de cinquante ans, à cinq ans et demi; ainsi, la petite ellipse décrite par la comète, en 1770, était due à l'attraction de Jupiter. On admit l'explication donnée par Lexell; mais malheureusement la comète ne fut plus revue à partir de 1770. Lexell fit remarquer de nouveau que la comète avait dû, en 1779, passer une seconde fois très-près de Jupiter, que l'attraction de cette grosse planète s'était exercée en sens inverse et avait reporté la période de cinq ans à vingt ans. Mais, comme l'a fait voir M. Leverrier, les observations de Messier ne sont pas assez exactes pour qu'on puisse calculer avec certitude les perturbations éprouvées par la comète. Peut-être l'ellipse a-t-elle été changée en hyperbole. Dans tous les cas, c'est une comète perdue.

Parmi les comètes qui ont paru dans ces derniers temps, la plus remarquable est celle de 1858, qu'on appelle aussi comète de Donati, parce qu'elle fut observée pour la pre-

Fig. 62. — Comète de Donati, d'après Bond, le 3 octobre 1858 (d'après l'*Astronomie* de M. A. Boillot).

mière fois par Donati à Florence. L'observation attentive de cette comète a confirmé les indications qu'avait

Fig. 63. — Comète de Donati, d'après Bond, le 5 octobre 1858 (d'après l'*Astronomie* de M. A. Boillot).

fournies la comète de Halley, à son passage en 1839, relativement à la constitution physique des comètes. Elle était visible à l'œil nu le 19 août. Elle se montra

Digitized by Google

d'abord sous la forme d'une nébulosité arrondie; un mois après, le 19 septembre, la queue commence à paraître; on aperçoit une seconde queue plus petite sortant latéralement de la queue principale. Dix jours après, le 30 septembre, la queue a beaucoup grandi; à l'extrémité de la petite queue latérale se trouve une brillante étoile; c'est un hasard de position; cette étoile évidemment n'appartient pas à la comète. Le 9 octobre, la queue avait pris tout son développement et la queue secondaire s'est fondue dans la grande.

En examinant la tête avec de puissants grossissements, on a observé quelques particularités remarquables.

FIG. 64. — Tête de la comète de Donati, le 11 octobre 1858, d'après Secchi (d'après l'*Espace céleste et la nature tropicale* de M. Emm. Liais).

Le 5 octobre, on voit près du noyau, et du côté du soleil, une masse brillante, séparée du noyau par un in-

FIG. 65. — Tête de la comète de Donati, le 9 octobre 1858, d'après Secchi (d'après l'*Espace céleste et la nature tropicale* de M. Emm. Liais).

tervalle obscur; on dirait une couche de nuages produits par l'évaporation du noyau, et du côté où l'évaporation s'opère, c'est-à-dire du côté du soleil. Au delà, et séparée de la première par un intervalle obscur plus grand, on voit une seconde couche brillante beaucoup plus étendue, entourant le tout comme un immense demi-cercle et se prolongeant en arrière pour former la queue. Deux jours après, le 7 octobre, la tête de la comète a éprouvé des changements notables; la couche intérieure s'est divisée en deux, et l'on voit sortir du noyau une aigrette longue et brillante qui s'élance du côté du soleil, à travers les trois couches successives, et s'étend jusqu'au bord extérieur de la chevelure.

Ces dessins sont de MM. Otto Struve et Winneeke.

En 1862, parut aussi une belle comète; sa queue recouvrait 20 degrés; sa tête présentait un aspect assez

FIG. 66. — Comète de 1860, le 5 juillet (d'après l'*Espace céleste et la nature tropicale* de M. Emm. Liais).

singulier. C'était comme un oiseau gigantesque déployant sa queue splendide.

Enfin, l'année dernière, au commencement de 1865, une belle comète a été observée au Chili par M. Moesta.

Il me reste maintenant, messieurs, pour terminer cette esquisse rapide de l'histoire des comètes, à vous dire quelques mots de plusieurs questions intéres-

Digitized by Google

santes qui s'y rattachent, et qui nous touchent de près. Quelle est l'origine des comètes? Appartiennent-elles à notre système comme les planètes, et la même cause a-t-elle présidé à leur formation? En second lieu, les comètes sont-elles destinées, comme le croyait Newton, à tomber sur le soleil, et à lui servir d'aliment? Enfin,

Fig. 67. — Comète de 1861, d'après M. Warren de La Rue d'après l'*Astronomie* de M. A. Boillot).

avons-nous quelque raison de craindre qu'une de ces nombreuses comètes, qui sillonnent l'espace dans toutes les directions, ne rencontre la terre, et quelles seraient les conséquences probables d'un semblable événement?

En ce qui concerne la première question, je rappellerai d'abord brièvement la théorie de Laplace. Laplace suppose que le soleil et les planètes ont été produits par une nébuleuse semblable à celles qui sont répandues avec tant de profusion dans le ciel; cette nébuleuse était animée primitivement d'un mouvement de rotation sur elle-même; une condensation s'est opérée au centre, il s'y est formé un noyau brillant, origine de notre soleil; par suite d'un refroidissement successif, des zones de vapeurs se sont déposées dans le plan général de l'équateur de la nébuleuse, plan qui coïncide à peu près avec le plan de l'équateur du soleil; ces zones de vapeurs, par leur agglomération, ont constitué les planètes. Il est certain que cette théorie de Laplace rend parfaitement compte des traits principaux qui caractérisent notre système, savoir : le mouvement des planètes sur des ellipses très-arrondies, situées à peu près dans le même plan et décrites toutes dans le même sens; et, en outre, la rotation de tous ces astres sur eux-mêmes, dans le sens du mouvement général de translation.

Quant aux comètes, Laplace les regardait comme étrangères à notre système, comme de petites nébuleuses errant d'un soleil à un autre; quand elles parviennent dans cette partie de l'espace où l'attraction de notre soleil est prédominante, il les force à décrire autour de lui des ellipses elliptiques ou hyperboliques. Mais cette idée de Laplace présente une grave objection. En effet, si les comètes sont étrangères à notre système, si elles nous viennent du dehors, un grand nombre d'entre elles devraient décrire des hyperboles. Or, parmi toutes les comètes dont on a calculé les orbites, il n'en est qu'un fort petit nombre, et encore le fait n'est-il pas parfaitement constaté, qui aient paru se mouvoir sur des hyperboles. Il me semble bien plus simple d'admettre que les comètes sont des restes de la nébuleuse au sein de laquelle s'est formée notre système, de petits amas de vapeurs flottants primitivement çà et là dans l'atmosphère agitée de la nébuleuse, et qui, sollicités par l'attraction du soleil, deviennent des ellipses autour de lui.

Maintenant, quel est le rôle des comètes dans l'économie générale de notre système? Quelle est leur destinée? Le soleil envoie sans cesse autour de lui une immense quantité de chaleur et de lumière. Quelle que soit l'idée que l'on se fasse de la lumière ou de la chaleur, et les deux choses n'en font qu'une, soit qu'elle consiste, comme le croyait Newton, en une multitude de petits corpuscules lancés par le soleil dans toutes les directions, avec une énorme vitesse, soit qu'elle consiste, comme l'admettent les physiciens modernes, en un mouvement vibratoire qui se propage dans l'éther; dans tous les cas, le soleil s'appauvrit; il perd, dans le premier cas, de sa substance, dans le second cas, de son mouvement. Cet appauvrissement du soleil, le refroidissement qui en résulte, inquiétait beaucoup Newton. Il crut trouver un remède à ce mal dans la comète de 1680; il remarqua qu'elle avait passé très-près du soleil, à une distance de sa surface égale au sixième du diamètre de cet astre; elle l'avait, en quelque sorte, effleuré; il pensa que cette distance diminuerait encore par suite de quelque résistance, et qu'après cinq ou six révolutions la comète tomberait sur le soleil. Mais alors ses craintes changèrent de nature; après avoir eu peur du froid, il eut peur du chaud. (*Rives.*) Il y a des exemples d'embrasements subits d'étoiles; Newton les expliquait par la chute de quelque comète. Si les choses se passent ainsi sur notre soleil, disait Newton, la comète sera comme un immense fagot jeté dans un brasier; elle produira un tel développement de chaleur que la terre sera brûlée et que tous les animaux périront. Le danger n'est probablement pas aussi grand que le croyait Newton. Nous savons aujourd'hui que les comètes ont des masses extrêmement petites; et puis il est très-possible qu'elles tombent sur le soleil par parcelles, de manière à alimenter le foyer central sans l'augmenter d'une manière excessive.

La comète de 1843 passa encore plus près du soleil que celle de 1680. D'ailleurs l'effet, manifesté par la comète d'Encke, de la résistance d'un milieu qui diminue

Digitized by Google

graduellement les ellipses et fera tomber sur le soleil toutes les comètes à des époques plus ou moins éloignées, semble confirmer les idées de Newton.

La troisième question ne nous intéresse pas moins que les précédentes. Parmi les nombreuses comètes qui parcourent notre système dans tous les sens, il est certain que plusieurs ont passé très-près de la terre. Une comète peut donc rencontrer notre globe ; quelles en seraient les conséquences ? Plusieurs géologues ont voulu expliquer les révolutions du globe terrestre par des chocs de comètes. Par suite de la rotation de la terre sur elle-même la terre est aplatie aux pôles et renflée à l'équateur; le renflement forme autour de l'équateur comme un immense bourrelet de cinq lieues d'épaisseur. Or, supposez qu'une comète vienne choquer la terre et déplace l'axe de rotation, et, par suite, le plan de l'équateur qui lui est perpendiculaire ; immédiatement, les eaux accumulées autour de l'équateur actuel se précipiteront vers le nouvel équateur; les terres seront submergées et les mers mises à sec. Mais, ce n'est pas tout; le noyau intérieur, qui est liquide et en fusion, à cause de sa haute température, devra prendre lui-même la nouvelle forme d'équilibre; il exercera un effort puissant contre la croûte solide très-mince qui le recouvre et sur laquelle nous sommes placés ; cette croûte sera brisée en plusieurs endroits, et il en résultera le plus épouvantable cataclysme. Mais je me hâte de dire que nous n'avons rien de pareil à redouter. Nous savons aujourd'hui, d'une manière certaine, que les masses des comètes sont extrêmement petites. Ainsi la comète de Lexell, qui s'est jetée, deux fois étourdiment, à travers les satellites de Jupiter, n'y a pas produit le moindre dérangement; d'autres comètes ont passé tout près de Mercure sans lui faire éprouver la moindre perturbation. Il est donc impossible à une comète, tellement sa masse est petite, de déplacer par son choc, d'une manière sensible, l'axe de la terre.

Mais il y a un autre danger. Les queues des comètes ont un immense développement; il doit arriver souvent, quand une comète passe dans le voisinage de la terre, que nous soyons frappés par sa queue, ou même, sans cela, que les vapeurs qui forment l'extrémité de la queue, étant retenues faiblement par le noyau et attirées fortement par la terre, entrent dans l'atmosphère et se mêlent à l'air que nous respirons. Si ces vapeurs étaient délétères, nuisibles, il en résulterait pour nous de très-graves inconvénients. Képler qui, nous l'avons vu, n'avait pas bonne opinion des comètes et les regardait comme formées des impuretés de l'éther, n'augurait rien de bon d'un tel mélange. Il devait produire infailliblement, disait-il, une peste universelle. Mais jusqu'à présent on n'a rien observé de pareil, et il est probable que nous traversons les queues des comètes sans même nous en apercevoir.

Je m'arrête, messieurs. Il est temps de quitter un sujet entouré de tant de mystères, et qui, suivant l'expression d'Herschel, ouvre carrière à des spéculations sans fin.

BRIOT.

CONFÉRENCES SCIENTIFIQUES DE NANCY.

PHYSICO-CHIMIE APPLIQUÉE AUX BEAUX-ARTS.

M. NICKLÈS.

Les couleurs dans leurs rapports avec les lumières artificielles (1).

Messieurs,

Les couleurs ne paraissent pas à la lumière de la bougie, de la flamme ou du gaz, ce qu'elles paraissent au grand jour, en sorte qu'on juge mal des nuances d'une fleur, d'une étoffe ou d'un tableau, quand on les examine de nuit et lorsque, par hasard, le peintre s'avise d'allumer la lampe pour suppléer au jour qui fuit, il est bien surpris le lendemain de l'assemblage de couleurs qu'il a fait la veille et qui ne répond en rien à sa pensée.

Ces faits sont connus, et si je les rappelle, c'est que je crois avoir trouvé le moyen qui permet de voir, à toute heure, les diverses couleurs avec la teinte qu'elles offrent respectivement à la lumière du jour ; c'est ensuite parce que je crois avoir trouvé la cause, ou du moins, l'une des causes qui occasionnent, de la part de la lumière du gaz ou de celle de la bougie et de la lampe, les étranges perturbations dont je viens de parler et dont j'aurai, tout à l'heure, l'occasion de vous faire juges.

En vous signalant, il y a quelque temps déjà, l'existence des perchlorures et de leurs congénères, je voulus préparer sous vos yeux le perchlorure de manganèse, lequel, comme vous le savez, donne avec l'éther une combinaison d'un beau vert (2).

C'était un soir, et vous vous rappelez qu'à la place de la belle coloration verte annoncée, j'obtins un liquide d'un noir désespérant. Sûr néanmoins de mon fait et ne pouvant, pour le moment, me rendre compte de cette perturbation, je ne pus que vous promettre d'éclaircir ce résultat inattendu. Il fut expliqué dès le lendemain. Le changement de couleur tenait au changement survenu dans l'éclairage. Vert au grand jour, le perchlorure de manganèse éthéré paraît noir à la flamme du gaz par un de ces phénomènes d'absorption dont vous allez voir des exemples (3).

Ce qui m'avait mis si promptement sur la voie de cette explication, c'est le souvenir d'un fait du même ordre qui m'avait frappé quelques années auparavant dans un de mes cours du soir. Il s'agissait d'eaux potables, et nous passions en revue les différents réactifs moyennant lesquels on peut reconnaître la présence du bicarbonate de chaux. Dans le nombre figure un

---

(1) Leçon professée à l'Académie Stanislas dans la soirée du 5 janvier 1866 (avec des expériences à l'appui).

(2) Comptes rendus de l'Acad. des sciences, t. LX, p. 479.—*Annales de chim. et de phys.* du mois de juin 1865.

(3) Cet effet ne se produit pas avec le composé pur, car sa couleur est trop riche ; mais avec du peroxyde, de l'acide fumant et de l'éther qu'on ajoute ensuite, on obtient un produit plus dilué qui paraît noir dès qu'on le regarde à la flamme ou au gaz.

Digitized by Google

pigment d'un beau rouge cramoisi emprunté au *troëne* (*Ligustrum vulg.*), lequel pigment ne manque pas d'occasionner une coloration bleue dans tout liquide contenant du bicarbonate de chaux. Sûr de mon fait, j'annonce une coloration bleue, et pour pouvoir mieux en faire juger mon auditoire, je place le verre entre lui et un bec de gaz. Figurez-vous mon désappointement : la coloration était rouge, et aucun état de concentration ne put la faire paraître bleue comme elle l'était quelques heures auparavant. Vous devinez le reste : la couleur dépend de la nature de l'éclairage, et la coloration développée paraît bleue ou rouge, suivant qu'on la regarde au jour ou à la lampe.

Dès ce moment, je fis sur cette matière quelques expériences qui se rattachent à notre sujet ; leur résultat est d'ailleurs consigné dans vos mémoires de l'année 1859 (1). Je reconnus que le bicarbonate de potasse, les azotates de zinc et de chaux, les chlorures de zinc et de calcium, bleuissent le rouge de troëne tout comme le fait le bicarbonate de chaux, mais la lumière de la lampe n'impressionne pas de la même manière cette couleur bleue : en effet, en plaçant le tube entre l'œil et la flamme, on remarque que la coloration est *rouge* quand le liquide contient du chlorure de zinc ou du bicarbonate de chaux, qu'au contraire, elle est *verte* avec les azotates de chaux ou le chlorure de calcium, et qu'enfin, la coloration bleue ne change pas quand elle a été déterminée par le bicarbonate de potasse. Or, ces changements de couleur qui apparaissent à la lumière de la lampe ne se produisent pas à celle du *magnésium;* le bleu subsiste plus brillant peut-être qu'à la lumière du jour, de même que subsiste le beau rouge cramoisi de la *liguline* pure. Mais le vert du perchlorure ou du perbromure de manganèse éthéré reparaît aussi dans toute sa splendeur, quand on le regarde à la flamme du magnésium, même alors que la bougie ou le gaz continuent de brûler.

Ces faits une fois constatés, on pouvait s'attendre à ce que la lumière du magnésium se comportât de même à l'égard des autres couleurs. En effet, les expériences que j'ai faites à ce sujet me permettent d'affirmer que cette lumière fait ressortir les diverses couleurs tant naturelles qu'artificielles avec les nuances qu'elles offrent respectivement au grand jour, même quand le milieu est éclairé par des combustibles organiques. Sans doute, je ne prétends pas qu'il y ait identité absolue entre l'éclairage solaire et celui du magnésium; en appliquant aux couleurs éclairées par la flamme de ce dernier les procédés d'analyse si délicats dont M. Chevreul a doté la science, on trouvera peut-être une différence dans les tons, car la lumière du magnésium est bien plus blanche que celle du soleil, et elle fait merveilleusement ressortir les couleurs primitives, mais, ce dont il est aisé de s'assurer, c'est qu'à cette lumière, les diverses nuances conservent leur position respective, les tons ne se confondent pas, comme ils le font avec l'éclairage artificiel que produit la bougie, le gaz ou les autres agents d'éclairage.

Jugez-en vous-mêmes. Voici un pastel offrant des nuances assez variées. Il représente une touffe de nymphæa dans un étang bordé de hautes herbes. Éclairé comme il est, on a de la peine à distinguer les diverses nuances de vert, de bleu et de jaune qui composent le fond du tableau, et nul ne s'aviserait de chercher de l'eau sous les larges feuilles de la plante aquatique. Voyons, si, en éclairant davantage, nous serons plus heureux; allumons six becs de plus, prodiguons la lumière; vous le voyez : il n'y a rien de changé; ce sont des nénuphars blancs sur un fond vert. Voyons maintenant ce qu'ils deviendront à la lumière magnésique..... Avouez que je n'ai pas exagéré; pour éclairer un tableau, le gaz, même employé à profusion, ne vaut pas la lumière du magnésium (1).

Voici un paysage, c'est une vue des Vosges. Sur un fond vert et jaune nous remarquons, grâce au gaz, une ruine dominant un de ces plantureux villages comme on en voit dans la vallée du Rhin. Laissons maintenant faire la lumière du magnésium, et nous arriverons également à la conclusion que nous venons de formuler.

Les services que la chimie rend à la peinture ne se borneront donc plus désormais à la recherche et à la production de couleurs plus ou moins riches, car voici qu'elle la dote d'un nouveau mode d'éclairage consistant dans une sorte de lampe métallique, laquelle, allumée, permettra au peintre de travailler de nuit sans encourir les déceptions que lui ménagerait, autrement, le grand jour.

Et quand je dis le peintre, je devrais parler de tous les arts qui mettent les couleurs en œuvre. Prenez des étoffes teintes, des bois de couleur, du papier peint, que dis-je, des pains à cacheter, observez-les dans les deux lumières, ouvrez ensuite les volets de la chambre noire afin de juger de l'effet produit par le grand jour, et vous concluerez sans faute que, quand il s'agit de couleurs, la lampe ou le gaz ne sauraient suppléer le soleil aussi bien que le fait la lumière du magnésium.

Vous voyez facilement les applications dont ces expériences pourront devenir l'objet. Nous parlerons tout à l'heure de quelques-unes d'entre elles, mais avant de nous en occuper, vous serez peut-être curieux de connaître la cause des extinctions de couleur qu'on reproche avec tant de raison à l'éclairage usité.

Ces effets d'extinction peuvent tenir à bien des causes, et si je disais qu'ils tiennent à ce que nos agents d'éclairage ont une flamme jaune, vous ne seriez que médiocrement satisfaits, car il s'agirait toujours de savoir pourquoi cette flamme est jaune. Selon moi, cette flamme est jaune parce qu'elle renferme du *sodium*, ainsi que nous l'apprend l'analyse spectrale ; du sodium, disons-nous (2), autre métal curieux, lequel en brûlant donne une flamme *jaune*, comme le strontium

(1) Conf. J. Nicklès : De la matière colorante du troëne et de son application à la recherche des eaux potables, *Journ. de Pharm. et de chim.* t. XXXV, p. 332.

(1) En présentant en mon nom à l'Académie des sciences un résumé des faits nouveaux qui font l'objet de cette leçon, M. Chevreul ajouta qu'il a observé, il y a plus de vingt ans, que la lumière électrique se comporte à l'égard des couleurs comme le fait la lumière du magnésium. J'ignorai comme tout le monde ce résultat important, que l'illustre maître avait jusque-là gardé en portefeuille ; je ne puis que me féliciter de lui avoir donné l'occasion de le publier. (*Compt. rend. de l'Acad. des sciences* du 8 janvier 1866, p. 93).

(2) La flamme renferme aussi du charbon ; mais qu'elle est la couleur du charbon incandescent *pur*, c'est-à-dire exempt de cendres ? La lumière électrique est effectuée entre deux pointes de charbon de cornues, elle en transporte même d'une pointe à l'autre et pourtant elle n'est pas jaune (Voy. mon mém. intitulé : *Appareil pour servir à la démonstration de la théorie de la flamme;* dans *Mém. de l'Acad. Stanislas*, 1856, p. 183, et *Journ. de pharm. et de chim.*, t. XXXI, p. 179. — Voy. aussi *Exposé des sources de chaleur et de lumière*, par M. Chautard. Nancy, 1866.

Digitized by Google

donne une flamme *rouge*, le thallium une *verte*, l'indium une flamme *bleue*. Or, quand la flamme *jaune* du sodium éclaire du *bleu*, elle peut produire du *vert*. Frappe-t-elle une couleur qui est complémentaire du *jaune*, elle produira du *blanc* si le corps est capable de réfléchir la couleur; du *noir*, au contraire, si ce corps n'est pas réfléchissant; ce qui revient à dire que cette flamme dénature les couleurs, fonçant les unes et éteignant les autres.

Sans doute, cette explication ne répond pas à tout, et, sous ce rapport, la théorie a encore du chemin à faire. Mais qu'importe, si les faits sont exacts; c'est ce dont nous allons nous assurer.

Pour mieux vous faire saisir le rôle que, selon moi, le sodium joue dans nos flammes d'éclairage, plaçons-nous dans des conditions extrêmes, en opérant avec une flamme que nous aurons soin de saturer de ce métal. Voici cette flamme, rien de plus aisé que de se la procurer : prenez une lampe à esprit de vin et mettez-y une pincée de sel de cuisine, c'est-à-dire du chlorure de sodium; soluble dans l'alcool, ce corps se rend avec lui dans la mèche, et de là dans la flamme à laquelle il communique des propriétés qui ne manqueront pas de vous intéresser. Mais avant d'étudier celles-ci, voyons les couleurs sur lesquelles nous allons opérer.

Voici du papier d'un très-beau vert, qui paraît encore plus beau au jour ou à la flamme du magnésium, ce vert est du *manganate de baryte*, inventé par un de vos lauréats, M. Rosenstiehl, de Strasbourg (1). En voici un autre d'un orangé magnifique, qui gagne beaucoup à être regardé au soleil, c'est le *biiodure de mercure*. Enfin, en voici un jaune. C'est la belle couleur connue sous le nom de jaune de chrome. Vous la trouvez peut-être un peu pâle; mais patience, le soleil ou son suppléant, le magnésium, lui rendront justice.

Aucune de ces couleurs ne vaut de nuit ce qu'elle vaut de our; constatons cependant qu'elles paraissent encore belles à la clarté du gaz.

Maintenant, éteignons les lumières et allumons la lampe à sel. Que voyons-nous?

Le *vert* est devenu NOIR.

Le *rouge* se confond avec le *jaune;* l'un et l'autre sont devenus BLANCS.

Rallumons le gaz, et assurons-nous que nous ne nous trompons pas; en effet, chaque couleur reparaît avec sa nuance du moment.

Regardons-les maintenant à la flamme du magnésium, et avouons qu'elles sont loin de perdre à ce nouvel éclairage.

Antipode du magnésium, le sodium est donc l'ennemi des couleurs lorsqu'il se trouve dans une flamme homogène (2); il les éteint ou les réduit, en général, au blanc, au noir ou au gris, qui est un mélange des deux. Or, qui peut le plus peut le moins. Si la flamme à excès de sodium peut éteindre les couleurs, au point de les réduire au noir ou au blanc, une flamme moins riche de ce métal ne produira qu'une extinction partielle; voilà pourquoi les couleurs sont en général visibles à la flamme du gaz ou de la bougie, bien qu'elles ne manquent pas d'en recevoir des reflets ou des atteintes dont vous avez maintenant le secret (1).

Mais d'où la flamme du gaz tire-t-elle ce sodium? Il vient de la houille qui a servi à sa fabrication et qui, comme vous savez, donne toujours beaucoup de cendres; il vient de l'eau qui a servi à laver le gaz, eau qui, sortant d'un puits en connexion avec les marnes irisées qui s'étendent à proximité de Nancy, a pris une certaine quantité de sel dont ces terrains sont imprégnés; enfin, il vient des matières qui ont concouru à son épuration, sinon même de l'air atmosphérique qui en contient toujours des traces.

C'est encore l'air qui fournit du sodium à la bougie et à la lampe à huile, qui d'ailleurs en ont une provision dans les substances minérales contenues dans la mèche.

Ce n'est pas d'aujourd'hui qu'on sait qu'il y a du sodium sous une forme quelconque, dans le gaz d'éclairage; le fait a été constaté il y a plusieurs années déjà, d'une part par M. Wöhler, et de l'autre par M. Vogel (2), seulement il en contient très-peu; cependant, on peut l'en enrichir et lui communiquer par là les propriétés de la flamme d'alcool salé; mais pour cela il faut augmenter sa température. C'est à quoi l'on arrive au moyen de ces appareils que M. Bunsen a imaginés, lorsqu'il s'est agi de faire concourir le gaz au chauffage dans les laboratoires. Voici un de ces appareils; il est connu sous le nom de « bec de Bunsen ». En ce moment, la flamme est incolore ou à peu près, et dans tous les cas peu éclairante; introduisons-y un fil de platine recourbé et chargé de sel de cuisine, et voici la flamme de soude avec toutes ses qualités.

Ce n'est pas à dire que la flamme ordinaire du gaz ou de la bougie ne soit pas apte à se charger de sodium, mais alors ce n'est pas du sel marin qu'il faut prendre, mais du sodium métallique. Bien plus volatil que son chlorure, ce métal ne manquera pas de fondre, de se vaporiser et de communiquer à la flamme la couleur jaune caractéristique.

Le sodium joue donc incontestablement un rôle dans les flammes qui composent notre éclairage domestique, et je ne doute pas que toute flamme suffisamment éclairante, mais dénuée de ce métal ou de tout autre métal colorant, ou qui, contenant du sodium, est en même temps munie d'un noyau incandescent à la manière du soleil ou de la lumière électrique; je ne doute pas, dis-je, que pareille flamme ne soit apte à se comporter à l'égard des couleurs comme le fait la lumière du magnésium.

C'est probablement parce qu'elle contient du sodium que

(1) *Mém. Acad. Stanislas*, 1863, p. 36. — *Journ. pharm. et chim.*, t. XLVI, p. 345.

(2) Cela ne peut pas se dire du sodium brûlant à lui tout seul et loin de tout combustible aériforme. J'ai fait brûler ce métal dans un ballon de verre convenablement chauffé et alimenté par de l'air. La lumière produite par la combustion éclaira fort bien, mais sans modifier les couleurs.

Les nuances les plus sensibles à la flamme sodique ont parfaitement résisté. De ce nombre, le *vermillon*, le *biiodure de mercure* et le *perchlorure de manganèse éthéré*.

(1) La flamme d'hydrogène pur ne produit pas d'extinction appréciable; mais que dans le tube de dégagement et sur le passage du gaz on place un peu de sodium, aussitôt la flamme jaunit et éteint ou modifie les couleurs. Si maintenant on y plonge un faisceau de fils de platine, ceux-ci s'échauffent, deviennent éclairants et les couleurs des objets exposés reparaissent. Cela n'a plus lieu si, au lieu d'opérer à froid, on chauffe le sodium au point de le faire fondre; l'extinction de couleurs subsiste alors malgré l'intervention du fil de platine, évidemment parce que l'hydrogène a pu se saturer de vapeur de sodium, et que la spirale incandescente n'a pas assez d'éclat pour paralyser la flamme sodique qui l'enveloppe, comme cela arrive pour la lumière électrique, laquelle, comme on sait, n'est pas exempte de sodium, lorsqu'on la fait jaillir entre deux pointes de charbon.

(2) *Journ. de pharm. et de chim.*, t. XLIV, p. 172.

Digitized by Google

la lumière solaire est plus jaune que ne l'est celle du magnésium. C'est peut-être aussi pour cette raison que ce dernier fait ressortir les couleurs, mieux que ne le fait le soleil. Que si l'on tenait à donner à la première exactement la teinte de la lumière solaire, on n'aurait qu'à associer un peu de sodium au métal magnésique, de façon à brûler alors, non pas du magnésium pur, mais un alliage de magnésium et de sodium. C'est une expérience à faire (1).

On connaît déjà certains effets d'absorption, exercés par la flamme sodique, et M. Bunsen et M. Cartmell en ont tiré parti dans l'analyse des métaux alcalins (2). Des recherches spéciales m'ont appris qu'un grand nombre de matières *vertes* paraissent *noires* dans cette lumière, et qu'il en est de même de beaucoup de substances de couleur *rouge*. Seuls, les *bleus* (le bleu de troëne fait exception, sans doute parce qu'il est peu intense) ne sont pas anéantis par la flamme de soude, tout au plus y changent-ils de ton.

Voici maintenant quelques exemples : Les cristaux qui, dans ce flacon paraissent *noirs*, sont *verts* au jour; c'est de l'acétate de cuivre; cette plaque de porcelaine d'un *gris noir* est également *verte;* c'est une couleur vitrifiable, du *vert de chrome* tel qu'il sert à Sèvres.

Cette feuille d'or collée sur un carreau de verre, brave, comme vous voyez, la flamme de soude qui ne lui ôte rien de sa couleur jaune; regardons-la par transparence, et nous la verrons *noire* et non pas *verte*, comme elle est au grand jour.

Des différents verts simples que j'ai regardés à la flamme sodique, c'est le vert de Schweinfurth tel qu'il se présente sur les abat-jour, qui est le moins affecté par cette flamme; c'est ce qui explique l'opiniâtreté avec laquelle on l'applique à la coloration de ces appareils. Cependant, vous voyez que si la flamme ordinaire paraît sans action, celle de soude le jaunit sensiblement.

Le vert des feuilles est diversement affecté par cette flamme; les unes y paraissent jaunies, les autres noircies; il semblerait que sous ce rapport elles se partagent comme les autres verts.

Quant au *vert mixte* composé de jaune de chrome et de bleu de Prusse, tout en paraissant gris, il conserve un reflet jaune verdâtre peu agréable à l'œil.

Voici maintenant une série de substances de couleur rouge : ce sont des cristaux de nitro-prussiate de soude, d'iodure d'antimoine et d'arsenic, que vous avez vu se produire en 1859 (3); voici de l'ocre; toutes paraissent *noires*. Ce composé si brillant est du tartrate de fer et de potasse, *brun* au jour quand on regarde une lamelle par transparence, il acquiert à la flamme de soude des reflets *noirs* très-prononcés. Il en est de même du verre rouge, qui sert dans la peinture sur verre.

Dans la théorie newtonienne, le *noir* signifie absorption de toutes les couleurs, tandis que le *blanc* passe pour être le produit de la réflexion de celles-ci. Or, vous allez voir des couleurs rouges, donnant à volonté du blanc et du noir; il suffira de les employer dans un état de concentration plus ou moins grande. Voici, par exemple, une matière rouge qu'on obtient en traitant un sel à base de sesquioxyde de fer, par du sulfocyanure de potassium; elle ressemble, à s'y méprendre, à du sang veineux; de là aussi le nom de « sang artificiel » qu'on lui a donné. En ce moment, elle est d'un noir intense : étendons-la avec de l'eau, et la voilà incolore avec un ton gris toutefois, tandis qu'elle est manifestement rouge dès qu'on la regarde à la lampe et, à plus forte raison, au jour ou à la lumière du magnésium. J'en dirai tout autant des cristaux rouges dont nous venons de parler; faites-les dissoudre dans un véhicule approprié, et vous verrez leur dissolution paraître incolore. Pareil phénomène s'observe avec le brome, l'iode, et sans doute aussi le phosphore amorphe qui, comme eux, paraît noir dans la flamme de soude. Mais l'eau bromée ou une dissolution aqueuse d'iode paraissent incolores dans cette flamme.

Voici de magnifiques cristaux, que je vous ai fait connaître en 1861 (1); c'est du *bromo-bimusthate d'ammonium*. Déjà vous savez que, dans les rayons violets du spectre, il prend une couleur lie de vin très-belle (2). Or, si nous faisons intervenir la flamme de soude, la couleur rouge s'éteint tout comme le rayon violet qui a servi à la développer, et le cristal paraît incolore. Dans leur état normal, ces cristaux sont d'un beau jaune; la flamme de soude les fait paraître incolores, ce qui ne vous étonnera plus après les effets d'extinction que vous avez vu exercer par cette flamme sur le jaune si vif que fournit le chromate de plomb.

Voici maintenant différents bleus à base de cuivre; c'est à peine si l'œil y aperçoit un changement. Le bleu subsiste malgré la flamme de soude. A cette flamme, l'outremer ainsi que le bleu de Prusse paraissent noirs; toutefois, ils conservent un reflet violet. Voici du bleu d'aniline; dissous dans de l'alcool et appliqué sur du papier blanc, il échange, dans la flamme de soude, son beau bleu contre un violet peu riche; mais quand, au lieu de le dissoudre, on le regarde en masse ou en couche épaisse, il paraît *noir*.

Enfin, voici un bleu particulier très-instable, et qui ne se produit que dans des conditions particulières. Pour le moment, vous ne voyez dans ce ballon qu'une matière cristalline de couleur rose, que la flamme sodique fera paraître d'un blanc gris; c'est du *chlorure de cobalt* cristallisé; chauffons le ballon, et voilà qu'il se développe un bleu magnifique, qui brave impunément la flamme jaune, si défavorable aux autres couleurs.

En somme, les seules nuances qui résistent quelque peu à la flamme jaune de l'alcool salé sont fournies par le bleu. Toutes les autres sont profondément modifiées par cette flamme, qui les fait paraître en noir plus ou moins clair ou en blanc plus ou moins gris.

C'est dans ces résultats qu'il faut chercher l'explication d'un fait qui vous frappe, sans doute, depuis que nous avons allumé la lampe à sel. Vous remarquez la couleur sinistre qu'elle donne aux mains et à la figure de l'opérateur : la carnation devient d'un *vert* livide, les lèvres d'un *bleu violet*. Ces teintes sont évidemment dues au *bleu*, qui seul a

(1) Employé à profusion, le sodium ou son chlorure jaunissent fortement la flamme du magnésium qui, dès lors, altère sensiblement les couleurs; toutefois les effets ne sont pas continus, d'une part parce qu'il se dépose de l'oxyde de magnésium qui forme une enveloppe protectrice, et ensuite parce que le noyau incandescent est assez vif pour dominer le jaune sodique.

(2) *Journ. de pharm. et de chim.*, XXXV, p. 353 et t. XLII, p. 171.

(3) *Mém. de l'Acad. Stanislas*, 1860, t. I, p. 454 et 464.

(1) *Mém. de l'Acad. Stanislas*, 1862, p. 157 et *Journ. de pharm. et de chim.*, t. XXXIX et XL.

(2) *Ibid.*, p. 189.

Digitized by Google

pu résister aux effets d'extinction causés par la flamme de soude. Du reste, ce vert livide est connu de quiconque a vu flamber du punch ou un pudding, car ici c'est l'alcool salé qui est en jeu ; ce teint sinistre se produit aussi parfois dans les ateliers, notamment près des hauts fourneaux et chez les ouvriers des forges au moment où ils travaillent dans la fournaise chauffée au bois. Là, c'est évidemment la soude de castine, des scories et surtout des cendres qui, en se volatilisant, et peut-être en se réduisant, occasionne cet effet de coloration. Heureusement cet effet s'arrête avec la cause qui l'a produit, heureusement aussi les flammes qui servent à notre éclairage ne sont pas saturées de sodium, autrement nous serions, la nuit, exposés à tout voir en *bleu*.

Elles ne sont pas saturées de sodium, cependant elles sont suffisamment jaunes pour former du *vert* avec certains *bleus*. Voilà, sans doute, pourquoi certaines étoffes bleues paraissent vertes la nuit, et voilà aussi pourquoi, dans une pièce bien éclairée, il peut arriver qu'une robe verte se distingue difficilement d'une robe bleue; car, nous l'avons vu, le vert peut être noirci quelque peu, tandis que le bleu formera du vert avec la lumière jaune de l'éclairage.

Mais ces curieuses expériences ne me semblent pas seulement appelées à expliquer certains effets de coloration, vous allez voir qu'elles sont d'une utilité plus immédiate. Voici un cadre sur lequel on a peint un spectre, au moyen de couleurs délayées dans un mucilage de gomme arabique. Vous y voyez de larges bandes de rouge, d'orangé, de jaune, de vert et de bleu ; ce dernier, il est vrai, paraît un peu noir dans la flamme du gaz, mais allumons du magnésium, et nous verrons des couleurs spectrales assez irréprochables. Que vont-elles devenir à la flamme sodique ? On peut le prévoir : ces riches couleurs vont disparaître, et à leur place nous ne verrons plus que du blanc et du noir.

Voici la composition de ce spectre et les couleurs avec lesquelles il a été obtenu :

Couleur vue au jour.	Agent colorant.	Couleur vue à la flamme de soude.
Rouge	Ocre	Noir.
Orangé	Deuto-iodure de mercure	.....Blanc.
Jaune	Chromate de plomb	
Vert	Manganate de baryte	.....Noir.
Bleu	Bleu d'aniline	

A ce spectre, si étrangement défiguré, la lumière du soleil et celle du magnésium restituent instantanément les couleurs normales, alors même que l'alcool salé continue de brûler à proximité. Les choses ne se passent pas si bien à la lumière diffuse; dans ce cas, la flamme de soude ne manque pas de manifester sa présence en pâlissant visiblement les couleurs.

Lorsque cette flamme agit dans l'obscurité, les diverses couleurs de notre image spectrale sont, disons-nous éteintes, si bien qu'on n'y voit plus que du noir et du blanc. Vous remarquerez, cependant, que chacune des franges est accusée par un ton plus ou moins foncé ou plus ou moins dégradé, comme si l'on avait fait la photographie de ce spectre. Le modelé subsiste, grâce aux demi-teintes, de sorte qu'en regardant à la flamme de soude un tableau aux couleurs les plus variées, on peut ne plus voir qu'un dessin. Toutefois, dans les tableaux où le vert domine, cette flamme peut laisser subsister une teinte jaune, dont l'origine s'explique d'après ce qui vient d'être dit. Vous comprenez qu'alors ce vert renferme soit du Schweinfurth, soit du vert mixte. De même aussi le bleu ne sera-t-il pas toujours anéanti par cette flamme ; toutefois il se peut qu'il paraisse noir.

Nous voici arrivés au terme de notre carrière. Si j'ai réussi à me faire comprendre, vous penserez peut-être, comme moi, que les recherches que je viens d'exposer ne seront pas tout à fait inutiles aux arts. Du moment que la flamme sodique n'abolit que les couleurs et qu'elle laisse subsister le modelé, il est évident qu'on pourra, à son aide, remonter aisément au dessin sans toucher au tableau; faire, en quelque sorte, l'autopsie d'un chef-d'œuvre, et donner ainsi aux œuvres d'art une consécration que la photographie même ne leur donne pas aussi bien (1).

La flamme monochromatique du sodium a même, avec le brillant éclairage du magnésium, ceci de commun, qu'elle servira, quoique dans un autre sens, à grouper les couleurs et à pondérer les tons. Par cela même qu'au jour, deux nuances, par exemple deux *verts*, paraissent identiques sur la palette, il ne s'en suit pas qu'ils le soient aussi de nuit à la lumière domestique. C'est là encore ce que fait ressortir la flamme sodique, laquelle, en exagérant les effets d'absorption ou d'extinction que peut occasionner la flamme de la bougie ou celle du gaz, permet de juger promptement de la valeur d'une nuance en vue d'un effet donné.

J. NICKLÈS,
Professeur de chimie à la Faculté des sciences de Nancy.

(1) L'expérience a été faite à plusieurs reprises, et devant des personnes qui cultivent la peinture avec quelque succès.

BULLETIN DES COURS.

SALLE DU GRAND-ORIENT DE FRANCE. — Conférence de M. FÉLIX HÉMENT sur la *distribution de la chaleur à la surface du globe*. — M. Félix Hément appartient à ce groupe d'esprits distingués qui se sont donnés pour mission de vulgariser les connaissances amassées par la science moderne. Dans cette conférence sur la distribution de la chaleur à la surface du globe, grâce à une parfaite lucidité d'expressions et une ingéniosité délicate dans le choix des exemples et des comparaisons, M. Hément a su rendre claires, saisissables, tangibles même pour les plus humbles de ses auditeurs, les grandes lois qui président aux phénomènes des saisons, aux variations de la température dans les différentes régions de l'univers; il a exposé l'influence qu'exercent sur la distribution de la chaleur et sur la répartition des espèces animales ou végétales à la surface de la terre, toutes ces causes si puissantes, la latitude et l'altitude de chaque lieu, son exposition et son voisinage des montagnes ou des mers, la direction des grands courants océaniques ou atmosphériques, l'incessante mobilité de l'atmosphère qui nous environne, etc. Nous avons quitté la salle du Grand-Orient charmé par cette parole gracieuse et facile, élégante sans prétention, en emportant cette conviction que, suivant le vœu exprimé par le conférencier, aucun de ceux qui l'ont entendu ne s'en est allé sans avoir recueilli quelque fruit de son enseignement. — Danicourt.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE NUMÉRO 14 3 MARS 1866

Paris, 2 mars 1866.

M. Dumas a présenté lundi dernier à l'Académie des sciences une note de M. Malaguti, relative à un corps nouveau qu'il a trouvé dans des débris de démolitions; ce corps est formé d'éléments qu'on ne s'attendrait guère à trouver réunis, et sa constitution peut être représentée assez exactement par une molécule d'oxyde de zinc et trois molécules d'ammoniaque et d'eau.

Deux savants étrangers envoient un mémoire concernant l'application de l'acide phosphorique à la préparation artificielle des engrais et à l'assainissement des villes. Les recherches de M. Boussingault ont établi que le phosphate ammoniaco-magnésien était le meilleur de tous les engrais et qu'il exerçait sur la végétation une influence plus puissante que celle du guano lui-même, dont les dépôts tendent, du reste, à s'épuiser fort rapidement, et cesseront sans doute, dans une trentaine d'années d'ici, de pouvoir satisfaire aux demandes de plus en plus nombreuses de l'agriculture. Les auteurs de ce mémoire proposent de jeter dans les fosses d'aisances de l'acide phosphorique mêlé avec de la magnésie dans les proportions convenables pour constituer un sel acide; l'ammoniaque qui se produit dans la fosse, en réagissant sur ce mélange, donnerait naissance au phosphate ammoniaco-magnésien, et l'on aurait ainsi produit à peu de frais un engrais très-puissant, en même temps qu'on serait débarrassé en bonne partie d'exhalations méphitiques aussi dangereuses pour la santé publique que désagréables pour l'odorat.

En faisant connaître, dans la séance du 12 février, certains verres jaunes qui deviennent bruns quand on les chauffe pour redevenir jaunes ensuite par le refroidissement, M. Splitgerber explique ce phénomène en admettant que le soufre contenu dans le verre a subi une modification allotropique pour prendre la forme de soufre noir, qu'un savant de Berlin croyait avoir découverte il y a une dizaine d'années. M. Nicklès envoie à ce sujet une note ayant pour but de montrer que cette prétendue modification allotropique n'existe pas, la coloration noire étant simplement due à la présence de matières organiques (notamment des résines ou des corps gras), qui sont souvent mêlées au soufre, et dont la moindre trace suffit pour lui communiquer une couleur brune.

Citons enfin un mémoire relatif à la présence de la fécule dans les plantes; un rapport de M. Brongniart sur les travaux d'anatomie et d'histologie végétales de M. Trécul, et la présentation par M. E. Blanchard, d'un mémoire de M. Alphonse Milne Edwards, faisant suite aux travaux importants qu'il a déjà publiés sur l'histoire naturelle des crustacés.

L'Académie des sciences tiendra lundi prochain sa séance publique annuelle, sous la présidence de M. Decaisne, et, après la proclamation du prix, M. Coste, qui remplace M. Flourens dans ses fonctions de secrétaire perpétuel, prononcera l'éloge de Dutrochet.

Nous publions aujourd'hui la conférence de M. Tyndall, qui vient d'ouvrir les lectures du vendredi soir à l'Institution royale de la Grande-Bretagne. Nous comptons publier presque toutes les lectures qui sont annoncées pour cette année; et nous espérons en outre emprunter aussi quelques leçons aux divers cours qui s'y professent.

L'Institution royale de Londres mérite, à tous égards, d'attirer vivement notre attention. Elle a été fondée en 1799, par une association purement privée, qui compte aujourd'hui plus de six cents membres, et dispose d'un budget annuel de 200 000 francs provenant des cotisations de ses membres ou des libéralités particulières qu'elle a reçues. Son but est d'encourager les études scientifiques ou littéraires, et d'enseigner les principes des sciences ainsi que leur application aux arts et à l'industrie. L'*Institution royale* possède une bibliothèque de 40 000 volumes et de magnifiques laboratoires ouverts à tous ceux qui veulent sérieusement s'occuper de recherches scientifiques; ces laboratoires sont dirigés actuellement par le professeur Frankland pour la chimie, et le professeur Tyndall pour la physique. C'est là que Thomas Young, sir Humphrey Davy, Faraday, etc., ont fait la plupart des grandes découvertes qui ont illustré leur nom.

La France ne possède plus aujourd'hui rien d'analogue à l'Institution royale de la Grande-Bretagne; mais il y avait autrefois à Paris un *Athénée*, plus ancien que l'*Institution royale*, et dont le but était le même. Il tenait ses séances près du Palais-Royal, au coin de la rue de Valois et de la rue Saint-Honoré, au premier étage, dans

Digitized by Google

un local qui est occupé aujourd'hui par un vaste café. Lavoisier, Berthollet, Monge, Laharpe, etc., y ont professé autrefois, et, parmi les célébrités scientifiques qui s'y sont fait entendre pendant la dernière période de son existence, nous citerons particulièrement M. Dumas. Malheureusement cette utile institution a sombré, il n'y a pas encore un bien grand nombre d'années, au milieu de difficultés où les questions financières avaient une grande part. Depuis, la *Société chimique de Paris* a bien organisé des conférences publiques destinées à l'exposition des recherches scientifiques les plus nouvelles. Mais ces conférences, beaucoup trop rares d'ailleurs (il ne s'en est guère jamais fait qu'une demi-douzaine par an, et ce nombre a bien diminué encore dans ces deux dernières années), s'adressent presque exclusivement à un auditoire de savants spéciaux, et le public ne les a jamais fréquentées. D'ailleurs, la Société chimique, formée de savants modestes, ne dispose pas des sommes importantes qu'assure à l'*Institution royale* le concours des gens du monde et des grandes notabilités du pays; aussi n'a-t-elle point de laboratoire, et ne peut-elle encourager efficacement la culture des sciences comprises dans son domaine, autrement qu'en offrant aux chimistes un moyen de plus de se communiquer leurs recherches.

L'*Association scientifique*, la *Société des amis des science*, donnent aussi de loin en loin une conférence; mais leurs moyens sont encore moins étendus que ceux de la Société chimique. Quant aux *Associations polytechnique* et *philotechnique*, nous n'en parlons pas, leur but, très-honorable du reste, étant exclusivement l'instruction des classes ouvrières.

En dehors des établissements de l'État, bien maigrement dotés du reste, et ne disposant pour la plupart que de laboratoires très-insuffisants, la France ne possède pas d'institution régulière qui puisse fournir aux savants des moyens d'études et des moyens de propagande, c'est-à-dire des laboratoires convenablement installés et largement pourvus, et des chaires permanentes autour desquelles le public soit habitué à se presser. Le développement qu'ont pris dans ces derniers temps les conférences libres est sans doute un grand progrès à cet égard; mais ces conférences cherchent encore des locaux et une organisation régulière; d'ailleurs des nécessités que nous n'avons pas besoin d'indiquer, l'absence de laboratoires et d'instruments en ont fait écarter presque partout les questions scientifiques un peu élevées. Les *Soirées scientifiques de la Sorbonne* ne sont point mises en question ici puisqu'elles relèvent de l'État et disposent des ressources de tous les établissements publics; mais si elles offrent des moyens de propagande elles ne donnent pas de moyens d'études, et de plus elles sont forcément privées de certains avantages qu'offrirait une institution libre.

Le futur *Athénée* qui s'élève derrière le nouvel Opéra remplira-t-il cette lacune? nous le souhaitons. La disposition et la situation du local y attireront certainement le public; mais il faudrait pouvoir y joindre des laboratoires de recherches, et les travaux scientifiques qui s'y feraient contribueraient sans aucun doute, d'une manière très-efficace, au succès de cet établissement. Une occasion toute naturelle va du reste se présenter. L'exposition universelle de 1867 ne peut manquer d'attirer à Paris un grand nombre de savants étrangers, et quel intérêt n'y aurait-il pas pour eux, comme pour le public français, à ce qu'ils puissent exposer leurs idées et leurs recherches dans des conférences publiques? Ne serait-ce point là un complément naturel de l'exposition des produits de l'intelligence? En Angleterre, l'Institution royale a souvent occasion d'écouter les chimistes et les physiologistes de l'Allemagne; mais chez nous, les savants étrangers ne peuvent se faire entendre ni à la Sorbonne, ni au Collége de France : à moins que l'*Athénée* ne leur ouvre ses portes, ils devront donc s'en retourner dans leur pays sans avoir resserré par ces communications plus directes les liens qui unissent d'un bout du monde à l'autre tous ceux qui cultivent la science.

E. A.

INSTITUTION ROYALE DE LA GRANDE-BRETAGNE

(Lectures du vendredi soir.)

M. TYNDALL.

Des rapports de la chaleur rayonnante avec la constitution chimique, la couleur, et la condition mécanique.

Une des fonctions les plus importantes de la science physique, considérée comme moyen d'exercice pour nos facultés, c'est de nous mettre à même de concevoir les phénomènes non tangibles de la nature, au moyen de ceux qui tombent sous nos sens. Les phénomènes tangibles indiquent la route à la pensée, mais cette route une fois montrée, la pensée ne se laisse plus arrêter par les limites des sens. En effet, si on le compare aux vastes régions qui ne sont accessibles qu'à la pensée, le domaine des sens dans la nature est, pour ainsi dire, infiniment petit. Un astronome peut, après quelques observations, calculer la route d'une comète dans des régions inaccessibles à tous les télescopes; de même, au moyen des données que nous fournit le monde restreint des sens, nous pouvons nous établir dans des mondes plus vastes, où l'intelligence seule peut pénétrer.

Depuis l'antiquité on s'est demandé: qu'est-ce que la lumière? Qu'est-ce que la chaleur? Mais jamais on n'aurait pu résoudre ces questions, si l'on ne s'était d'abord demandé: qu'est-ce que le son? L'esprit s'est exercé au contact des phénomènes, comparativement grossiers, de l'acoustique, il a tiré de l'observation directe des conceptions qu'on a appliquées ensuite à des phénomènes d'un caractère beaucoup trop subtile pour qu'on puisse les observer directement. Nous savons que le son est produit par des vibrations. Un diapason vibrant, par exemple, transmet à l'air qui l'entoure des ondulations, qui se propagent de tous côtés avec une certaine vélocité, viennent frapper la membrane du tympan, ébranlent le nerf acoustique et éveillent dans le cerveau la sensation du son.

Digitized by Google

Quand on est assez proche d'un corps vibrant on peut sentir les vibrations de l'air. Un sourd, par exemple, qui plonge la main dans une cloche, au moment où elle rend un son, sent, par l'intermédiaire des nerfs communs de son corps, ces tremblements qui, quand ils viennent frapper les nerfs d'une oreille saine, se traduisent en sons. Il y a plusieurs moyens de rendre ces vibrations sonores non-seulement tangibles, mais visibles. Ce ne fut qu'après des expériences sans nombre de cette sorte que le physicien a adopté complétement et sans conserver l'ombre d'un doute, la conviction que ce que nous ressentons comme son, n'est en dehors de nous qu'une vibration de l'air.

Ce fait une fois établi, dès qu'il fut prouvé que la sensation du son est causée par une agitation du nerf de l'oreille, on se demanda bientôt si la lumière ne serait pas produite par une agitation du nerf de l'œil. C'était là, déjà, un grand progrès sur l'ancienne idée qu'on se faisait de la lumière, alors qu'on la regardait comme une chose produite par l'œil et non pas reçue par cet organe. Mais si la sensation de la lumière résulte d'une vibration du nerf optique ou de la rétine, qu'est-ce qui produit cette vibration ? Newton, vous le savez, supposait des molécules lumineuses, traversant les humeurs de l'œil, et venant frapper la rétine, suspendue au fond de l'œil. Newton croyait que le choc de ces molécules sur la rétine était la cause de la lumière. Mais la théorie de Newton n'a pu subsister, renversée, qu'elle a été par la théorie bien plus merveilleuse, bien plus philosophique, que la lumière, comme le son, est due à un mouvement ondulatoire.

Le domaine dans lequel s'accomplit ce mouvement de la lumière se trouve entièrement en dehors de la portée de nos sens. Les ondulations de la lumière ont besoin d'un médium pour se former et se propager, mais nous ne pouvons ni voir, ni toucher, ni goûter, ni sentir ce médium. Quoiqu'il semble, être en dehors de toute investigation possible, l'existence en a été cependant démontrée. Comment est-on parvenu à faire cette démonstration ? En prouvant que par la supposition de ce merveilleux éther intangible, tous les phénomènes de l'optique s'expliquent si pleinement, si clairement, si logiquement, que la raison satisfaite n'a plus rien à désirer. Quand Newton imagina, pour la première fois, la loi de la gravitation universelle, que fit-il ? Il examina si cette loi expliquait tous les faits. Il considéra l'orbite des planètes, calcula la rapidité de la chute de la lune sur la terre, étudia la précession des équinoxes, le flux et le reflux, et prouva que tous les phénomènes s'expliquaient par la gravitation. Il considéra donc cette loi comme établie, et le verdict de la science a depuis confirmé cette conclusion. Nous basons notre croyance à l'existence de l'éther universel sur des raisons semblables, peut-être même plus fortes. L'existence de l'éther explique des phénomènes bien plus variés, bien plus compliqués que ceux sur lesquels Newton avait basé l'existence de la gravitation. Si l'on pouvait indiquer un seul phénomène qui ne se trouvât pas expliqué par l'éther, nous repousserions de suite cette hypothèse; mais jamais on n'en a pu indiquer un seul. Il est donc au moins aussi certain que l'espace est rempli d'un médium au moyen duquel soleils et étoiles répandent leurs rayonnements, qu'il est certain que l'espace est traversé par cette force, qui retient dans ses limites, non-seulement notre système planétaire, mais l'infini de l'univers.

C'est là l'exemple le plus étonnant de la production d'une pensée, sortie du monde des sens, pour entrer dans la région de la pure imagination. Et en me servant du mot *imagination*, je ne veux pas parler de cette fantaisie qui « *donne à de légères idées une habitation et un nom* » (1), mais de ce pouvoir qui permet à l'esprit de concevoir des réalités au delà de nos sens; qui lui permet de se représenter les images distinctes de phénomènes qui, quoique formant un tout immensément grand, sont cependant si petits individuellement qu'ils échappent à toutes nos observations. Ce sont les ondes de l'air, mises en mouvement par ce diapason, qui nous permettent d'en entendre les vibrations. Ce sont les ondulations de l'éther, parties de ces lampes, qui nous les rendent visibles; mais ces ondulations sont si petites, qu'il en faudrait de 30 000 à 60 000, placées bout à bout pour couvrir une longueur d'un pouce. Leur nombre, cependant, est une compensation de leur petitesse. Des trillions de ces ondulations sont entrés dans vos yeux, ont frappé votre rétine, pendant la plus courte phrase que j'aie encore prononcée. Voilà le solide résultat des recherches modernes; mais jamais nous n'aurions pu atteindre ce résultat, si nous n'avions pas eu un enseignement préparatoire. Jamais nous n'aurions pu mesurer les ondes de la lumière, nous n'aurions même pas pu soupçonner leur existence, si nous ne nous étions auparavant exercés sur les ondes du son. Le son et la lumière s'aident mutuellement; les résultats que nous obtenons pour l'un sont agrandis, renforcés, définis, par les résultats que nous obtenons de l'autre.

L'éther, qui transporte les pulsations de la lumière et de la chaleur, ne remplit pas seulement les espaces célestes, baignant les côtés des soleils et des planètes, il entoure aussi les atomes qui composent ces soleils et ces planètes. L'éther transporte le mouvement de ces atomes et non pas celui d'une partie sensible de ces planètes et de ces étoiles; c'est ce mouvement qui constitue la cause objective de ce que nous ressentons comme chaleur et comme lumière. Un atome, envoyant ses pulsations à travers l'éther infini, ressemble donc à un diapason, envoyant ses pulsations à travers l'air. Examinons un instant cet éther, et considérons brièvement ses relations avec les corps dont il transmet les vibrations. Différents corps, portés à la même température, ont un pouvoir bien différent pour agiter l'éther; quelques-uns émettent facilement, d'autres difficilement la chaleur rayonnante; ce qui veut dire que quelques-uns sont constitués de telle façon qu'ils communiquent librement leurs mouvements à l'éther, et produisent dans son sein des ondulations puissantes; tandis que d'autres, ne peuvent communiquer leurs mouvements à l'éther et glissent à travers sa masse sans en troubler l'équilibre. L'expérience a prouvé que les corps élémentaires, à moins qu'ils ne soient placés dans certaines conditions anomales, émettent difficilement la chaleur rayonnante. Un atome, vibrant dans l'éther, ressemble à un diapason, privé de sa table harmonique, vibrant dans l'air. Le mouvement communiqué à l'air par ce mince diapason est trop petit pour produire à distance la sensation du son. Mais si nous laissons les atomes se combiner chimiquement et former des molécules, nous remarquerons dans bien des cas un changement considérable du pouvoir rayonnant. Une molécule composée peut avoir un pouvoir des milliers de fois supérieur à chaque atome constitutif, pris séparément, pour troubler l'équi-

(1) « *Give to airy nothing a local habitation and a name.* » Shakespeare.

Digitized by Google

libre de l'éther. Nous pouvons grossièrement figurer cet effet en replaçant le diapason sur sa boîte harmonique. Le diapason et sa boîte forment maintenant un système composé, et les vibrations, qu'il était dans le premier cas impossible d'entendre, sont actuellement la source d'un son si puissant que des milliers de personnes pourraient l'entendre à la fois. On peut donc dire que le diapason et sa boîte harmonique rayonnent facilement le son.

Un seul exemple suffira pour démontrer la grande influence de la coalescence des atomes sur la radiation de la chaleur. Supposons qu'une livre d'oxygène sec et qu'une livre de vapeur transparente d'eau soient transportées au sommet d'une haute montagne, où l'air est trop raréfié pour opposer une résistance sensible au passage de la chaleur rayonnante vers l'espace stellaire ; supposons qu'arrivés sur cette montagne, nous portions le gaz et la vapeur à la température de l'eau bouillante, et que nous les exposions ensuite au ciel sans nuages. En chauffant le gaz et la vapeur, nous avons communiqué à leurs particules un mouvement plus vigoureux, un plus grand total de *vis viva*, comme nous l'appelons. L'oxygène communiquera-t-il son mouvement à l'éther aussi librement que la vapeur d'eau ? Non. La différence qui existe entre eux sous ce rapport est énorme. Quand leurs températures sont égales, le montant de chaleur rayonnante, ou en d'autres termes, de mouvement moléculaire perdu par la vapeur, dans un temps donné, est au moins neuf mille fois plus grand, que celui perdu dans le même temps par l'oxygène. Le pouvoir de la vapeur sous ce rapport est si considérable, que je doute beaucoup de l'exactitude de la simple formule que lui attribuent les chimistes. La molécule d'eau représente une table harmonique de vaste dimension, autrement elle ne pourrait jamais engendrer les grandes ondulations qu'elle produit (1).

Le ton d'une note de musique dépend de la rapidité des vibrations, ou en autres termes, de la longueur des ondes. Le ton d'une note répond à la couleur de la lumière. Je prends un faisceau de lumière blanche, produit par la lumière électrique, et je le fais passer à travers des prismes. Cette lumière est décomposée, et nous obtenons l'effet que Newton a obtenu le premier, en décomposant la lumière du soleil et en étalant la splendeur du spectre solaire. A une extrémité de ce spectre nous avons une lumière rouge, à l'autre extrémité une couleur violette, entre ces extrêmes se trouvent toutes les autres couleurs prismatiques. En nous avançant du rouge au violet, le *ton* de la lumière, si je puis m'exprimer ainsi, devient plus élevé, la sensation du violet étant produite par une succession plus rapide d'ondulations, que celle que produit l'impression du rouge. Les vibrations du violet ne sont pas tout à fait deux fois aussi rapides que celles du rouge ; en autres termes, l'étendu du spectre visible ne comprend pas tout à fait un octave.

Il n'y a dans ce spectre aucune solution de continuité ; les couleurs se fondent les unes dans les autres par des gradations insensibles. On pourrait comparer le spectre à un nombre infini de diapasons, chacun d'un ton insensiblement plus élevé que l'autre et vibrant tous à la fois. Mais si nous examinons un autre spectre, par exemple celui de la vapeur incandescente de l'argent, nous verrons qu'il ne présente que deux raies vertes, étroites et très-brillantes. Dans ce cas, c'est comme si nous n'avions que deux diapasons, d'un ton légèrement différent, et vibrant à la fois. La longueur des ondulations, qui produisent cette première raie verte, est telle qu'il en faudrait 47 460, placées bout à bout, pour faire un pouce anglais ; les ondulations qui produisent la seconde raie verte sont un peu plus courtes, il en tiendrait 47 920 dans un pouce ($0^m,0254$). Dans le cas de la première raie le nombre de vibrations communiquées à chaque œil, par seconde, est de 577 millions de millions ; et le nombre des vibrations de la seconde, pendant le même temps, est de 600 millions de millions. Je vais maintenant projeter sur l'écran la magnifique lumière verte qui nous a servi à produire ces raies. Cette lumière est produite par la vapeur incandescente de l'argent. Il est impossible de rendre cette vapeur blanche. Le nombre des vibrations de ces atomes, dans un temps donné, est aussi fixe que celui des vibrations d'un diapason ; et quelle que soit la température à laquelle nous pourrions porter cette vapeur, la rapidité de ses vibrations et par conséquent sa couleur, qui dépend uniquement de cette rapidité, ne subira aucun changement.

La vapeur de l'eau, aussi bien que la vapeur de l'argent, a ses périodes définies de vibrations, et ses périodes sont telles qu'on ne peut l'élever jusqu'à la chaleur blanche. La flamme d'oxygène et d'hydrogène, par exemple, consiste en vapeur aqueuse chaude. A peine cette flamme est-elle visible dans cette salle, et elle serait encore moins visible si nous pouvions brûler le gaz dans une atmosphère pure. Mais l'atmosphère terrestre, même au sommet du mont Blanc, est impure ; à Londres, elle est plus qu'impure, et ces impuretés, brûlant dans la flamme, lui donnent la plus grande partie de sa lumière. La chaleur de cette flamme est énorme. Le fer fond à une température de 2000 degrés Fahrenheit ; la température de la flamme oxy-hydrogène est de 7000 degrés Fahrenheit. Un morceau de platine, placé à une distance de deux pouces de l'extrémité visible de cette flamme, est porté au rouge vif. En cet endroit, la vapeur qui produit l'incandescence est absolument obscure... Dans la flamme elle-même, le platine devient d'une blancheur éblouissante et finit par être percé. Quand cette flamme frappe un morceau de chaux, nous avons l'éblouissante lumière de Drummond. Mais, dans ce cas, la lumière est due au fait que, quand la flamme frappe le corps solide, les vibrations excitées par la flamme ont des périodes différentes des siennes propres.

Nous nous sommes occupé jusqu'à présent d'atomes et de molécules en état de vibration, et entourés par un médium qui reçoit ces vibrations et les transmet à travers l'espace infini. Mais supposons que les ondes produites par un groupe de molécules viennent se heurter contre un autre groupe, que deviendront ces ondes ? Seront-elles arrêtées ? Pourront-elles passer ? Transmettront-elles leur mouvement aux molécules contre lesquelles elles viennent se heurter ? S'échapperont-elles en contournant ces molécules ou en passant à travers l'espace intermoléculaire ? La réponse à cette question dépend d'une condition que nous pouvons expliquer au moyen d'une expérience sur le son. Voici deux diapasons qui sont exactement au même ton ; ils vibrent avec la même rapidité, et, montés ainsi chacun sur sa boîte harmonique, vous entendez qu'ils

(1) Volume pour volume, l'ozone, cette substance étonnante, a probablement un pouvoir rayonnant cent mille fois plus grand que celui de l'oxygène. Ceci prouve que les atomes d'un élément peuvent être groupés de telle façon qu'il se comporte envers l'éther comme un composé très-complexe. Ne serait-il pas possible que la molécule d'eau fût une molécule de molécules, la formule chimique n'indiquant qu'un seul membre du groupe ?

Digitized by Google

donnent la même note. Au moyen d'un archet, j'excite de fortes vibrations dans un de ces diapasons, et je l'approche de l'autre qui est resté silencieux, en ayant soin toutefois de ne pas les mettre en contact. Je les laisse dans cette position pendant quatre ou cinq secondes. Je touche maintenant le diapason que j'ai fait résonner avec l'archet pour arrêter ses vibrations, et cependant le son ne cesse pas. Le second diapason s'est mis à vibrer comme son voisin et résonne à son tour. Je démonte un des diapasons, et je laisse l'autre sur sa boîte. J'excite de fortes vibrations dans le diapason démonté; mais vous ne pouvez pas entendre le son. Privé de sa base, le mouvement qu'il peut communiquer à l'air est trop petit pour que le son soit sensible à quelque distance; j'approche ce diapason démonté de celui qui est resté sur son support, mais sans les mettre en contact. Du silence sort un son mélodieux. D'où vient-il? Des vibrations que le diapason démonté a transmises à l'autre. Pour que le mouvement puisse ainsi se transmettre à travers l'air, il faut que les deux diapasons soient à l'unisson. Si je place sur l'un des diapasons un petit morceau de cire pas plus gros qu'un pois, c'est assez pour qu'il ne soit plus capable d'agir sur l'autre ou l'autre d'agir sur lui. Il est facile de comprendre cette expérience : les pulsations d'un diapason peuvent agir sur un autre, parce qu'elles sont parfaitement cadencées. Une seule pulsation fait exécuter au diapason silencieux une vibration infiniment petite; mais, au moment même où il vient de compléter cette petite vibration, une autre pulsation est prête à le frapper. Ainsi, les petites vibrations s'additionnent. Pendant les cinq secondes que j'ai tenu les diapasons l'un auprès de l'autre, celui qui vibrait a envoyé 1280 ondes à son voisin, et ces 1280 chocs, tous portés au bon moment, tous, comme je l'ai dit, parfaitement réglés, ont donné une telle force aux vibrations du diapason muni de son support que vous avez tous pu les entendre.

Permettez-moi de vous donner un autre exemple de l'influence du synchronisme sur les vibrations musicales. Voici trois petites flammes brûlant dans trois tubes de verres de différentes longueurs. On peut faire produire à chacune de ces flammes une note de musique dont le ton dépend de la longueur du tube qui environne la flamme. Plus le tube est court, plus le ton est élevé. Les flammes sont maintenant silencieuses, chacune dans son tube respectif, mais on peut faire répondre chacune d'elles à une note de musique. J'ai ici un instrument appelé *sirène*, au moyen duquel je peux produire une note puissante. Je commence par un ton très-bas, et je monte graduellement à un ton plus élevé, jusqu'à ce qu'enfin j'atteigne la note de la flamme placée dans le plus long tube. Dès que ce moment est arrivé, la flamme se met à chanter. J'arrête et je réexcite la sirène, de manière que vous puissiez entendre que les deux notes sont identiques. Mais les autres flammes sont encore silencieuses. Je pousse l'instrument à des notes plus élevées : la seconde flamme s'est mise à chanter, la troisième seule reste silencieuse. Mais une note, encore plus élevée, vient aussi de la faire chanter. Ainsi, à mesure que le son de la sirène s'élève graduellement, il éveille chaque flamme en passant, en venant la frapper d'une série d'ondulations dont les vibrations correspondent aux siennes.

Appliquons ces faits à la chaleur rayonnante, en prenant, comme nous l'avons fait déjà, la vapeur d'eau comme exemple. Les molécules de cette vapeur ont des périodes définies de vibrations qui sont aussi invariables que celles d'un diapason. Revenons donc à notre expérience au sommet d'une montagne : au lieu d'exposer notre vapeur chaude comme nous l'avons fait, sans rien mettre au-dessus, supposons que nous étendions une couche de vapeur aqueuse entre elle et le firmament. La lumière des étoiles n'est pas affectée par

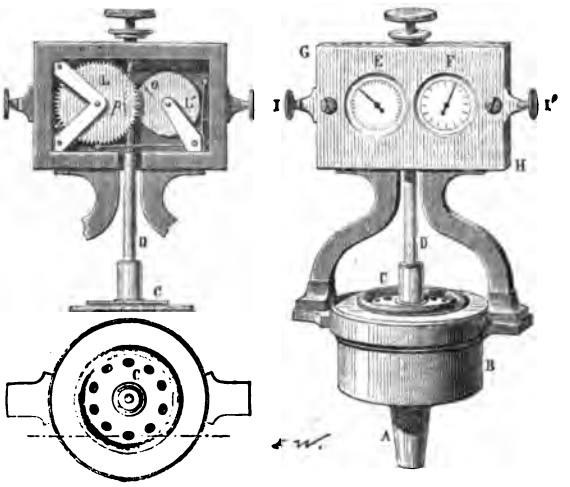


Fig. 68. — Sirène vue de face et en coupe (d'après la *Physique* de M. Desains).

cette couche, que je suppose être de vraie vapeur, et par conséquent parfaitement transparente. Mais le cas est tout différent en ce qui concerne les rayons calorifiques émis par la vapeur chaude placée au-dessous. Les molécules de cette vapeur et de celle de la couche placée au-dessus sont, si je puis m'exprimer ainsi, parfaitement à l'unisson, et le mouvement vibratoire, au lieu d'être transmis à l'espace, est transmis aux molécules de la vapeur placée au-dessus. Le mouvement est ainsi intercepté, et, pour nous servir de l'expression technique, la chaleur est absorbée. La couche supérieure de vapeur s'échauffe d'abord à sa surface inférieure, puis, par une progression graduelle, dans toute sa masse; mais alors cette couche rayonne dans toutes les directions, et elle renvoie à la source d'où elle l'a reçue une partie de la chaleur qui lui a été communiquée. C'est le même grand principe qui sert de base à l'analyse spectrale et qui a permis aux savants de déterminer les substances qui composent le soleil, les étoiles, les nébuleuses même, principe qu'on pourrait poser en ces termes : tout corps qui peut émettre un rayon, soit calorifique, soit lumineux, peut au même degré absorber ce rayon. L'absorption dépend du synchronisme qui existe entre les vibrations des atomes, d'où sortent les rayons, ou plus correctement les ondulations, et entre celles des atomes contre lesquels ces ondulations viennent se heurter.

La vapeur d'eau ne peut pas émettre sensiblement de lumière blanche; elle ne peut pas non plus absorber cette lumière. Elle ne peut pas, par exemple, absorber les rayons lumineux du soleil, quoiqu'elle absorbe, et cela avec un immense pouvoir, les rayons obscurs de la terre. L'eau, la glace, et en un mot toutes les substances réellement transparentes, partagent avec la vapeur d'eau cette inhabileté à absorber les rayons lumineux. Leur transparence provient de ce qu'ils ne peuvent pas absorber ces rayons. Les molécules de semblables substances sont en désaccord avec les ondes lumineuses; aussi ces ondes traversent-elles les substances transparentes sans troubler leur repos moléculaire. Un rayon lumineux, quelle que soit sa chaleur, ne peut pas pratiquement faire fondre la

Digitized by Google

plus petite quantité de glace. Je puis, par exemple, faire converger un rayon lumineux très-puissant sur une surface couverte de gelée blanche sans faire fondre le plus petit cristal de glace. Comment donc se fait-il, pourra-t-on demander, que les neiges des Alpes se fondent au soleil de l'été? Ce ne sont pas les rayons lumineux du soleil qui fondent ces neiges, mais ce sont des rayons solaires parfaitement obscurs qui se chargent de ce soin. Les rayons lumineux du soleil tombent sur les champs de neige, sont réfléchis de cristal en cristal, mais ne peuvent pas se loger à l'intérieur. Ils ne sont pas absorbés et ne peuvent, par conséquent, produire une fusion. Mais le soleil émet de puissants rayons obscurs, et ce sont ces rayons qui fondent les glaciers et font disparaître les neiges; ce sont eux qui remplissent l'Arve et l'Aveyron, et qui délivrent de leur prison de glace le Rhône et le Rhin.

Je place derrière les pointes de charbon d'une lampe électrique un miroir concave argenté, et je fais converger la lumière en un foyer éblouissant. J'interpose entre la lumière et le foyer une cuve pleine d'eau, et je place au foyer un morceau de glace. Le faisceau concentré, après avoir traversé l'eau, ne peut faire fondre la glace, quoiqu'à ce même foyer je puisse allumer des allumettes et faire brûler du bois. La puissante chaleur de ce faisceau lumineux ne peut donc fondre la glace. Je retire la cuve d'eau, la glace se fond immédiatement, et vous la voyez tomber en gouttes. Je réinterpose l'eau, la fusion s'arrête, et les gouttes cessent de tomber. L'eau transparente de la cellule n'exerce aucune absorption sensible dans les rayons lumineux; cependant elle soustrait quelque chose au faisceau, quelque chose qui peut fondre la glace. Ce quelque chose est la radiation obscure de la lumière électrique. Je place de nouveau un morceau de glace pure devant la lampe électrique; je fais passer un faisceau lumineux d'abord à travers notre cuve d'eau, puis à travers la glace. Au moyen d'une lentille, je projette sur un écran l'image du morceau de glace. Le faisceau, tamisé par l'eau, n'a aucun effet sur la glace. Mais voyez ce qui se passe dès que je retire la cuve interposée : ici nous avons une étoile, là une autre étoile; chacune de ces étoiles ressemble à une fleur à six pétales, et à chaque instant elles s'agrandissent. A mesure que les feuilles deviennent plus grandes, leur bord devient dentelé, mais elles conservent toujours leurs six pétales. Vous assistez, en un mot, à l'inversion de la cristallisation de la glace, inversion produite par les rayons invisibles de la lumière électrique. Ces rayons désagrégent les molécules et nous révèlent l'exquise structure atomique de la substance dont la nature recouvre chaque hiver nos étangs et nos lacs.

Je pourrais produire des effets sans nombre, qui, au premier abord, semblent anomales, pour démontrer l'action de ces rayons obscurs. Voici par exemple deux poudres, toutes deux blanches, qu'il est impossible de distinguer à la vue. Ces poudres n'absorbent pas les rayons lumineux de la lampe électrique, ces rayons ne leur communiquent aucune chaleur; cependant une des substances est si violemment échauffée par le faisceau concentré de la lampe électrique, qu'elle se met à fumer puis s'enflamme, tandis qu'on peut laisser l'autre au foyer sans qu'elle soit à peine échauffée. Autre exemple : voici deux liquides parfaitement transparents que je place au foyer; l'un se met à bouillir au bout de quelques secondes; l'autre placé dans la même position est à peine échauffé. La température d'ébullition du premier liquide est 78° centigr., température bientôt atteinte; celle du second liquide n'est que de 48° centigr., température qu'il est impossible de lui faire atteindre. Ces anomalies sont entièrement dues à l'élément invisible qui se mêle aux rayons de la lumière électrique et qui constitue 90 pour 100 de son pouvoir calorifique.

J'ai ici une substance au moyen de laquelle je puis séparer ces rayons invisibles des rayons lumineux. Cette substance est un liquide noir, c'est-à-dire aussi opaque qu'une couche de poix pour les rayons lumineux, mais aussi transparent que le diamant pour les rayons obscurs. Il arrête absolument les premiers, mais laisse passer librement les seconds. Je fais converger en un foyer ces rayons invisibles à une distance de plusieurs pieds de la lampe électrique; les rayons obscurs forment à ce foyer une image invisible de leur source. On pourrait transformer cette image invisible en une image visible, éblouissante. Si le temps me le permettait, je pourrais en outre vous montrer que, par un procédé de transmutation, je puis extraire de ces rayons parfaitement obscurs toutes les couleurs du spectre solaire. Je pourrais aussi vous prouver que ces rayons, assez puissants pour fondre bien des métaux, peuvent venir frapper la rétine, sans affecter l'œil, et sans produire la moindre impression lumineuse. Ces rayons obscurs sont maintenant réunis devant vous; vous ne voyez rien à l'endroit où ils convergent; avec un thermomètre convenable on pourrait prouver que l'air à ce foyer est aussi froid que l'air environnant. Et remarquez la conclusion à laquelle cela nous conduit. Cela prouve qu'au foyer l'éther est pratiquement séparé de l'air, et que les mouvements éthérés les plus violents peuvent s'y reproduire, sans causer le moindre mouvement de l'air. Mais, quoique vous ne puissiez rien voir, il y a assez de chaleur à ce foyer pour mettre Londres en feu. La chaleur y est assez puissante pour élever le fer à une température à laquelle il brûle en brillantes étincelles; elle y est assez forte pour porter le platine à la chaleur blanche, et pour fondre presque ce métal réfractaire. Nous pouvons, à ce foyer, fondre de l'or, de l'argent, du cuivre, et de l'aluminium. Si j'y place un morceau de bois, il s'enflamme de suite.

Je vous ai déjà fait remarquer que sous le rapport de la radiation ou de l'absorption, les atomes élémentaires possèdent un pouvoir très-faible. Je pourrais vous le prouver par une multitude de faits; l'un des plus singuliers est sans contredit ce qui se passe quand nous plaçons à ce foyer du phosphore, ce corps si éminemment combustible. Il est impossible d'y enflammer un morceau de phosphore amorphe. Mais, le phosphore ordinaire est bien plus combustible, et la manière dont il se comporte vis-à-vis de la chaleur rayonnante est très-remarquable. On peut exposer le phosphore à la radiation intense d'un feu ordinaire sans qu'il s'enflamme. On peut le placer pendant vingt ou trente secondes, sans qu'il se mette à brûler, au foyer de rayons obscurs, alors que dans le même espace de temps le platine sera porté à la chaleur blanche. Malgré l'énergie des ondes éthérées concentrées à ce foyer, malgré le caractère éminemment inflammable du corps simple exposé à leur action, les atomes de ce corps refusent de partager le mouvement de ces ondes et ne peuvent, par conséquent, être affectés par leur chaleur.

Les connaissances que nous possédons actuellement nous permettront d'étudier avec profit une question pratique. On porte en été des vêtements blancs, parce qu'ils sont plus frais que les vêtements noirs. Le célèbre Benjamin Franklin fit l'expérience suivante : Il plaça sur la neige, exposés aux rayons du soleil, des morceaux d'étoffes de différentes cou-

Digitized by Google

leurs, et remarqua que ces étoffes s'enfonçaient plus ou moins dans la neige. L'étoffe noire s'enfonçait le plus profondément, l'étoffe blanche ne s'enfonçait pas du tout. Franklin déduisit de son expérience que les corps noirs absorbent le mieux, et les corps blancs le moins bien, la chaleur rayonnante. Examinons cette conclusion, voici deux cartes, l'une est recouverte d'une poudre très-foncée, l'autre d'une poudre blanche. Je place ces cartes devant le feu, en exposant à la chaleur les côtés couverts de poudre, et je les y laisse assez longtemps pour qu'elles acquièrent une haute température. Quelle sera la carte qui aura atteint la plus haute température? Je n'ai pas besoin de thermomètre pour résoudre cette question. Si je presse sur ma joue ou sur mon front la carte couverte de poudre blanche, je trouve que la chaleur est intolérable. Je place l'autre carte dans la même position; elle est froide. La poudre blanche a donc absorbé beaucoup plus de chaleur que la poudre noire. Cette simple expérience anéantit des centaines de conclusions, qu'on a tirées trop à la hâte de l'expérience de Franklin. Autre exemple : Voici deux thermomètres très-sensibles, suspendus à égale distance d'une même flamme. La boule de l'un est recouverte d'une substance noire, celle de l'autre d'une substance blanche. Ces deux boules ont reçu la radiation de la même flamme; mais la boule blanche a absorbé plus de chaleur, et le mercure dans ce thermomètre est plus élevé que dans l'autre. Je pourrais varier cette expérience à l'infini, et vous prouver que nous ne pouvons tirer aucune conclusion exacte de la couleur d'un corps, regardant son pouvoir d'absorption.

La raison en est simplement que la couleur ne nous permet de juger que d'une partie, et c'est la plus petite des rayons qui frappent le corps coloré. Si tous les rayons étaient lumineux, nous pourrions certainement déduire de la couleur d'un corps son pouvoir absorbant. Mais la grande masse de la radiation de nos feux, de nos lumières artificielles, et du soleil lui-même, est formée de rayons calorifiques invisibles, sur lesquels la couleur ne nous enseigne rien. Un même corps peut être très-transparent pour une classe de rayons, très-opaque pour l'autre classe. Ainsi la poudre blanche dont nous nous sommes servis dans notre expérience, et qui absorbait si puissamment la chaleur, a été choisie spécialement à cause de son extrême perméabilité pour les rayons visibles et de son extrême opacité pour les rayons invisibles, tandis que la poudre noire a été choisie à cause de son extrême transparence pour les rayons invisibles et de son extrême opacité pour les rayons visibles. Si nous examinons nos feux ordinaires, nous trouverons qu'environ les 98 centièmes de l'émission totale, sont formés de rayons invisibles. Le corps donc, qui est le plus opaque pour ces rayons, est le meilleur absorbant quoiqu'il soit blanc.

Je désire appeler votre attention sur le procédé que nous suivons pour tirer des faits naturels, ce qu'on pourrait appeler leur valeur intellectuelle. Dans toutes les opérations de la nature, il y a harmonie et dépendance réciproque; la principale valeur de notre science, au point de vue de l'exercice de nos facultés, consiste à rechercher cette dépendance, à démontrer cette harmonie. Les phénomènes extérieurs et visibles ne sont que les jalons de l'intelligence; notre science ne serait digne ni de son rang, ni de sa renommée, si elle s'en tenait aux faits, quelque pratiquement utiles qu'ils fussent, et si elle négligeait de comprendre la loi qui accompagne la marche de ces phénomènes. Essayons donc de tirer de l'expérience de Franklin toute sa valeur intellectuelle, en appelant à notre aide les connaissances que nos prédécesseurs nous ont acquises. Supposons deux pièces d'étoffe du même tissu, l'une noire et l'autre blanche, et que nous plaçons toutes deux sur de la neige, exposée aux rayons du soleil. Étudions d'abord le morceau blanc, voyons s'il y a quelque raison de nous attendre à ce qu'il s'enfonce dans la neige. Les connaissances que nous possédons nous permettent de répondre de suite, négativement. Il y a au contraire de bonnes raisons pour penser qu'après une exposition suffisamment longue, nous trouverons le morceau d'étoffe sur une éminence au lieu de le trouver dans un creux; qu'au lieu d'une dépression nous aurons une élévation relative de ce morceau d'étoffe. Car, par rapport aux rayons lumineux du soleil, étoffe et neige sont aussi impuissants l'un que l'autre; l'une ne peut s'échauffer, l'autre ne peut se fondre sous l'influence de ces rayons. Étoffe et neige sont blanches, parce que leur masse moléculaire ne peut absorber de rayons lumineux. Ce sont donc les seuls rayons obscurs du soleil qui feront enfoncer ou non l'étoffe dans la neige. Or, de toutes les substances, la glace ou la neige, qui est simplement de la glace en poudre, est celle qui absorbe les rayons obscurs du soleil avec la plus grande avidité. Moins de chaleur sera donc absorbée par l'étoffe que par la neige environnante. L'étoffe jouera donc par rapport à la neige sur laquelle elle est placée, le rôle d'un bouclier; et comme la neige qui l'entoure fondra plus rapidement, l'étoffe au bout de quelque temps se trouvera sur une éminence, comme une table de glacier.

Mais, quoique la neige surpasse l'étoffe et comme radiateur et comme absorbant, ce n'est pas de beaucoup. Examinons maintenant l'étoffe noire, que je suppose être identiquement semblable, et comme tissu, et comme matière première, à l'étoffe blanche. Car, comme nous voulons comparer les effets de la couleur, toutes les autres conditions doivent rester les mêmes. Supposons donc que l'étoffe noire est le morceau blanc même qui nous a servi, mais passé à la teinture. L'étoffe elle-même, sans parler de la teinture, absorbe presque aussi bien la chaleur que la neige qui l'entoure. Mais à l'absorption des rayons obscurs par l'étoffe blanche, s'ajoute, actuellement, l'absorption de tous les rayons lumineux, et ce grand accroissement de chaleur est plus que suffisant pour faire enfoncer le morceau noir dans la neige. La somme de ses actions sur les rayons obscurs et sur les rayons lumineux excède l'action de la neige sur les rayons obscurs seuls. Telle est l'explication philosophique de l'expérience de Franklin.

Pendant toute cette soirée, nous nous sommes principalement occupés de la constitution chimique, comme influençant, d'une manière puissante, les phénomènes de la radiation et de l'absorption. Quant aux gaz, aux vapeurs et aux liquides, sources de ces vapeurs, il avait été prouvé, par les expériences les plus variées et les plus concluantes, que les actes de la radiation et de l'absorption sont *moléculaires*, c'est-à-dire qu'ils dépendent de la condition chimique et non de la condition mécanique. En essayant d'étendre ce principe aux solides, je fus arrêté par une multitude de faits observés par de célèbres physiciens, faits qui semblaient positivement interdire une semblable application. Melloni, par exemple, avait trouvé pour la craie et pour le noir de fumée, le même pouvoir de radiation et d'absorption. MM. Masson et Courtépée firent une longue série d'expériences, sur des précipités chimiques de différentes sortes, et trouvèrent pour tous le même pouvoir

Digitized by Google

rayonnant. Ils conclurent de leurs recherches que, quand les corps sont réduits à un état extrême de division, l'influence de cet état est si puissant, qu'il masque entièrement toute influence due à la constitution chimique.

Mais il me semble que, dans toutes ces recherches, il s'est glissé une inadvertance sérieuse, inadvertance dont l'énoncé seul prouvera combien de prudence est nécessaire dans les expériences de physique. Permettez-moi de vous dire où je crois avoir remarqué cette erreur. Voici un cube de métal, dont deux côtés sont parfaitement polis. Je remplis le cube d'eau bouillante, et je détermine la quantité de chaleur émise par les deux surfaces polies. L'une d'elle l'emporte de beaucoup sur l'autre, en puissance de radiation de la chaleur. Les deux surfaces paraissent métalliques. Quelle est donc la cause de cette différence? Tout simplement ceci : j'ai revêtu l'une des surfaces d'un vernis à la gomme transparent, à travers lequel, bien entendu, se laisse apercevoir l'éclat métallique. Eh bien, ce vernis si transparent pour les rayons lumineux, est parfaitement opaque pour les rayons obscurs. Ce vernis émet et absorbe puissamment les rayons obscurs. Aussi maintenant, tout en émettant lui-même en grande quantité la chaleur rayonnante, il ne laisse pas passer un seul rayon calorifique, du métal placé derrière lui. Le vrai radiateur est donc le vernis et non le métal.

Or, Melloni, Masson et Courtépée ont fait ainsi leurs expériences : ils ont mélangé leurs poudres et leurs précipités avec de l'eau gommée, et les ont étendus au moyen d'un pinceau sur un cube semblable à celui-ci. Il est vrai qu'ils continuaient de voir leurs poudres rouges, blanches ou noires, mais ils les voyaient à travers une couche de vernis, qui en enveloppait toutes les particules. Quand donc on a conclu que la couleur n'avait pas d'influence sur la radiation, on n'avait donné à la couleur aucun moyen de prouver son influence; quand on a trouvé que tous les précipités chimiques avaient le même pouvoir rayonnant, ce n'était que la radiation d'un vernis, qui leur était commun à tous, qu'on avait observée. Des centaines, des milliers peut-être d'expériences sur la chaleur rayonnante, ont été faites de cette façon, par bien des physiciens, mais je crains bien que tout ne soit à recommencer. Je ne connais pas d'exemple de cas, où une erreur aussi triviale ait été commise par tant d'habiles expérimentateurs, et ait faussé tant de résultats si importants.

En basant donc nos raisonnements sur les faits démontrés, nous arrivons à la conclusion très-probable que, dans les expériences dont nous venons de parler, le vrai radiateur était l'enveloppe des particules et non les particules elles-mêmes. Raisonner ainsi, déduire des expériences des conséquences plus ou moins probables, tel est l'exercice incessant de l'homme qui étudie les sciences naturelles. Mais après avoir suivi les lumières de la raison seule, dans une série de phénomènes, après avoir tiré de ces raisonnements une conclusion purement intellectuelle, notre devoir est de prouver cette conclusion par l'expérience directe. C'est de cette manière que nous fortifions notre science, c'est en ne nous épargnant aucun labeur, que nous apportons des matériaux solides à l'édifice que nous avons l'ambition d'élever. Si donc nos faits supposés sont réels; si nos déductions sont justes, l'expérience doit satisfaire notre jugement.

Dans le but de prouver ce que je viens d'avancer, je prends deux poudres ayant la même apparence physique; l'une d'elles est un composé de mercure, et l'autre un composé de plomb. Deux des surfaces de ce cube sont recouvertes de ces deux poudres rouge brillant, sans vernis d'aucune espèce. Je remplis le cube d'eau bouillante, et je détermine la radiation des deux surfaces; l'une d'elles émet 39 rayons, tandis que l'autre en émet 74. Voilà, sans contredit, une grande différence. Voici cependant, un second cube, deux de ses surfaces sont revêtues des mêmes poudres, la seule différence est, que dans le cas présent, ces poudres sont fixées au moyen d'un vernis transparent à la gomme. Les deux surfaces ont actuellement le même pouvoir rayonnant. Toutes deux émettent un peu plus de chaleur que n'en émettait chacune des deux poudres sans vernis, parce que la gomme employée est un meilleur radiateur que chacune d'elles. Si j'exclus tout vernis et que je compare des poudres blanches entre elles, je trouve de grandes différences; si je compare entre elles des poudres noires, je trouve aussi des différences; et si enfin, je compare des poudres blanches à des poudres noires, je trouve que dans quelques cas les poudres blanches rayonnent beaucoup plus que les noires, d'autres fois les noires beaucoup plus que les blanches. Si je détermine le pouvoir d'absorption de ces poudres, je le trouve équivalent à leur pouvoir rayonnant. De tout ceci, il résulte qu'en ce qui concerne la radiation et l'absorption des rayons calorifiques obscurs, la couleur ne nous enseigne rien; et que la radiation du soleil elle-même consistant principalement en rayons obscurs, toute conclusion, quant à l'influence de la couleur, peut être entièrement trompeuse. Tel est le strict résultat scientifique de nos recherches. Mais il n'en est pas moins vrai que, dans le cas des vêtements, et cela pour les raisons que j'ai données en analysant l'expérience de Franklin, les vêtements noirs absorbent, plus facilement que les blancs, la chaleur solaire.

Je vous ai brièvement présenté quelques résultats de recherches récentes. Si vous me demandez quel usage on peut en faire, à peine pourrai-je vous répondre, à moins que vous ne définissiez le mot usage. Si vous prétendez me demander si ces rayons obscurs qui dépouillent les Alpes de leurs neiges seront jamais employés à rôtir des dindons ou à mettre en mouvement des machines à vapeur, tout en affirmant qu'ils ont la force suffisante pour cela, j'avouerai franchement que je ne pense pas qu'ils puissent faire à présent une concurrence profitable au charbon de terre. Ils peuvent cependant avoir de grands usages qui me sont inconnus; et quand le charbon de terre sera épuisé, il se peut qu'une race plus éthérée que la nôtre emploie ce moyen transcendant pour faire cuire ses aliments et mettre en mouvement ses machines. Mais est-il nécessaire que le savant se préoccupe de l'application pratique de ses travaux? Quelle est la valeur pratique de l'*Iliade* d'Homère? Vous souriez, et vous pensez sans doute que l'*Iliade* est excellente comme moyen d'éducation. Les gens qui demandent à la science des usages pratiques oublient ou ne savent pas qu'elle aussi est excellente comme moyen d'éducation; que la connaissance de ce merveilleux univers est une chose profitable en elle-même, et qu'il n'est pas besoin d'une application pratique pour justifier cette étude. Mais si le savant refuse absolument de laisser juger de ses travaux par leurs applications pratiques, à moins que le terme pratique ne comprenne le bien intellectuel, aussi bien que le bien matériel, il sait parfaitement que les plus grands triomphes pratiques n'ont été que des épisodes de la recherche des vérités naturelles. Le télégraphe électrique est la merveille de notre époque, et les hommes dont les connaissances scienti-

Digitized by Google

fiques, dont l'habileté mécanique, ont fait le télégraphe ce qu'il est, méritent tout honneur. En un mot, ils ont trouvé leur récompense, et dans leur réputation et dans ces bénéfices plus substantiels, qu'un service rendu plus directement au public, amène toujours. Mais, permettez-moi de le demander, qui a mis une âme dans ce corps télégraphique? Qui a arraché au ciel le feu qui parcourt la ligne avec la rapidité de l'éclair? Ceci, je suis forcé de le dire, a été fait par deux hommes, l'un habitant de l'Italie (1), l'autre habitant de l'Angleterre (2), qui, dans leurs recherches, ne se sont jamais proposé un objet pratique, par deux hommes dont le seul stimulant était la fascination qui attire le montagnard au sommet d'un pic où personne n'a jamais pu parvenir, la fascination qui aurait fait quitter les victoires à César pour chercher les sources du Nil. L'application triomphante de leurs découvertes prouve que les connaissances que nous ont apportées ces prophètes, ces prêtres, ces rois de la science, sont ce que le monde appelle des connaissances utiles. Mais la science a une autre fonction à remplir, celle d'élever, de former l'esprit humain; et, je vous le demande, un système d'éducation, à notre époque, est-il complet, est-il même à peu près complet, si l'étude des connaissances naturelles n'y trouve pas de place, si elle y est négligée? Je n'en prends comme preuve que le pauvre spécimen que vous avez entendu ce soir.

Traduit sur le texte et sous la direction de M. TYNDALL, par E. BARBIER.

MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE.

PHYSIQUE VÉGÉTALE (3).

COURS DE M. GEORGES VILLE.

Assimilation du carbone, de l'oxygène et de l'hydrogène.

Nous avons constaté, dans une de nos premières leçons, que le carbone formait, à lui seul, environ la moitié de la matière solide des végétaux. Pour rendre compte d'une semblable assimilation, il faut évidemment une source d'une abondance extrême. Où la découvrirons-nous? serait-ce dans le sol? Les agriculteurs l'ont cru pendant longtemps. Ils attribuaient cette propriété à la substance noirâtre que l'on désigne sous le nom d'humus. Cette matière, encore mal définie, qui résulte de la décomposition spontanée des produits d'origine organique, est effectivement très-riche en carbone, mais le sol ne renferme que de faibles quantités d'humus, et les végétaux prospèrent même dans des circonstances où il en est complétement dépourvu. Vous savez, en effet, que, dans le sable calciné, la végétation est aussi active que dans la bonne terre, si l'on ajoute au sable certaines matières salines et un produit azoté. L'humus n'est donc pas indispensable au maintien de la vie végétale. Voici, d'ailleurs, quelques faits qui réfuteront, mieux que tous les raisonnements, le prétendu rôle de l'humus comme source du carbone des végétaux. Une partie d'humus exige 2500 parties d'eau pour se dissoudre. L'humus qui a été desséché à l'air ou soumis à l'action du froid ne se dissout plus. Le froid de l'hiver et la chaleur de l'été le rendent donc impropre à la nutrition des plantes en le privant de toute solubilité. On a pensé que la chaux et les alcalis contenus dans le sol pouvaient faciliter son assimilation. Ces substances possèdent, en effet, la propriété de le dissoudre, mais la quantité de carbone qui pourrait être absorbée par cette voie est tout à fait insignifiante. En voici la preuve : 1 kilogramme de chaux se combine avec $10^{kil},90$ d'humus. Or, une superficie de 2500 mètres de forêt produit 1325 kilogrammes de bois, dans lequel il y a 5 kilogrammes de cendres. En admettant que les cendres en masse possèdent le même pouvoir dissolvant que la chaux, ce qui est évidemment une supposition exagérée, $54^{kil},5$ d'humus auraient pu pénétrer dans les végétaux à la faveur des matières minérales que l'on y découvre. L'humus contenant environ 58 pour 100 de carbone, les $54^{kil},5$ absorbés pourraient rendre compte de la formation de $82^{kil},5$ de bois, ce qui est loin des 1325 kilogrammes récoltés. On peut répéter ce calcul pour les diverses cultures, et l'on se convaincra que l'humus ne peut jamais rendre compte que d'une très-minime fraction du carbone assimilé. Voici, d'ailleurs, quelques chiffres qui vous donneront une idée nette de l'importance de cette assimilation, que l'humus ne peut évidemment expliquer :

	Récolte sèche à l'hectare.	Carbone contenu.
	kil.	
Forêt plantée de hêtre, chêne, bouleau, tremble.	3754	1854 (1)
Pommes de terre (y compris les fanes).....	3772	1700 (2)
Betteraves (y compris les feuilles).....	4339	1940
Navets dérobés	716	307
Topinambours.....	17781	7993
Trèfle	4029	1909
Luzerne.....	8804	4225
Avoine (paille et grain).....	2347	1182
Froment (paille et grain).....	2906	1431

Ces chiffres parlent assez haut pour que l'on ne soit plus tenté d'attribuer le carbone des végétaux à l'absorption de l'humus en nature. Mais alors quelle est donc son origine? Le carbone des végétaux vient presque exclusivement de l'acide carbonique de l'air absorbé par les feuilles, et si l'humus concourt à alimenter les plantes de cet élément, ce n'est que dans une très-faible proportion et par le dégagement incessant d'acide carbonique que produit sa combustion lente sous l'influence de l'oxygène de l'air, car le carbone n'est absorbé par les végétaux qu'à l'état d'acide carbonique. Commençons par établir ce fait d'une manière irrécusable, car il est la base de tout ce que nous avons à dire sur l'assimilation du carbone.

Que l'on enferme dans un ballon à plusieurs tubulures un rameau de vigne garni de ses feuilles, et qu'au moyen d'un aspirateur on fasse passer un courant d'air dans l'intérieur du ballon, l'analyse de l'air à l'entrée et à la sortie prouvera qu'il y a eu perte d'acide carbonique.

Voici, sur ce point, le témoignage de l'expérience :

Proportion d'acide carbonique dans l'air.

Avant son passage sur les feuilles.....	0,00045
Après y avoir passé.....	0,00020

Par son contact avec les feuilles, l'air a perdu plus de la

(1) Volta.
(2) Faraday.
(3) Voy. les nos 32, 36, 38, 39, 44, 46, 48 et 51 de la deuxième année, et les nos 4, 6 et 8 de la troisième.

(1) Chevandier.
(2) Boussingault. — Ces résultats, tirés de la grande culture, sont, en général, très-inférieurs à ceux que fournit la culture intensive.

Digitized by Google

moitié de son acide carbonique; il est certain que les plantes jouissent de la faculté d'absorber ce gaz.

Que devient l'acide carbonique ainsi absorbé? Une autre expérience va nous l'apprendre. Introduisons, comme l'ont fait MM. Gratiolet et Cloëz, des feuilles de plante aquatique dans un flacon rempli d'eau chargée d'acide carbonique, adaptons au flacon un tube abducteur également rempli d'eau et exposons cet appareil au soleil. Presque aussitôt nous voyons s'élever des bulles de gaz, qui ne tardent pas à s'échapper par le tube de dégagement. Ce gaz, recueilli et examiné, est facilement reconnu pour de l'oxygène presque pur. Avec six tiges de *Potamogeton perfoliatum*, garnies ensemble de 143 feuilles et jaugeant un volume de 160 centimètres cubes, placées dans un flacon de 6 litres, MM. Gratiolet et Cloëz ont obtenu, en dix heures, $2^{lit},35$ de gaz, dont voici sa composition en centièmes :

Oxygène	87,50
Azote	11,25
Acide carbonique	1,25
	100,00

Il est donc bien établi que les plantes absorbent l'acide carbonique et dégagent de l'oxygène. Ce double phénomène a reçu le nom de respiration végétale, et se divise, comme la respiration animale, en deux actes opposés mais inverses de ceux de la respiration animale. Les animaux consomment de l'oxygène, les plantes en produisent; les animaux émettent de l'acide carbonique, les plantes en absorbent. Les deux règnes exercent ainsi sur l'atmosphère des actions inverses qui tendent à se compenser. Ils sont donc, en quelque sorte, solidaires l'un de l'autre par leurs besoins opposés, et la découverte de la respiration végétale nous révèle une des plus belles harmonies de la création.

C'est principalement par les feuilles que s'exécute la respiration des végétaux, aussi les quantités de carbone assimilées par les diverses cultures sont-elles, en général, proportionnelles à la surface de leurs feuilles, ainsi que le montre le tableau suivant :

	Carbone fixé à l'hectare.	Surface des feuilles à l'hectare.
	kil.	m. c.
Topinambours	7993	71 205
Betteraves	1808	24 960
Pommes de terre	1666	19 820
Froment	2003	17 745

Toutefois, la quantité de carbone absorbée n'est pas uniquement réglée par le développement des feuilles. A cette cause, il faut en ajouter une autre, tirée de l'organisation même des feuilles. Minces, elles absorbent, à surface égale, plus d'acide carbonique que quand elles sont épaisses et charnues. Sous ce rapport encore, la différence peut varier du simple au double. Voici, en effet, ce qu'une observation fort exacte a permis de constater :

Carbone fixé par mètre carré de surface de feuilles.

Topinambours	112 gr.
Froment	112
Pommes de terre	83
Betteraves	72

Bien que les feuilles soient le principal organe respiratoire des végétaux, elles ne sont cependant pas exclusivement chargées de cette fonction. Toutes les parties colorées en vert, jeunes écorces, fruits avant leur maturité, sépales du calice, etc., partagent avec elles la faculté de décomposer l'acide carbonique; si bien que la coloration verte est sinon le caractère absolu, du moins le signe très-général auquel on peut reconnaître les parties des végétaux qui fixent le carbone. Il existe, il est vrai, des plantes dont les feuilles, fortement colorées en rouge ou en brun, semblent faire exception à cette règle. Théodore de Saussure s'est assuré que les feuilles rouges de l'*Atriplex hortensis* décomposaient aussi bien l'acide carbonique que les feuilles vertes d'une autre variété de la même espèce; mais M. Cloëz a constaté que ces feuilles rouges contenaient, comme les autres, de la matière verte, dont la coloration se trouvait masquée par d'autres matières colorantes. La fonction respiratoire se trouve donc, en quelque sorte, liée à l'existence de cette substance verte que les chimistes désignent sous le nom de chlorophylle, par un rapport encore inconnu, mais qui n'en est pas moins certain. Cela est si vrai, que les parties végétales qui ne sont pas vertes et ne contiennent pas de chlorophylle, telles que racines, troncs âgés, pétales, étamines, fruits colorés, etc., etc., loin de fixer le carbone, absorbent, au contraire, de l'oxygène et dégagent de l'acide carbonique. Nous n'avons pas à insister ici sur ces phénomènes inverses de la véritable respiration végétale. Il nous suffit de constater leur existence pour avoir la preuve que les parties qui les présentent ne concourent pas à l'absorption du carbone.

Le travail respiratoire des parties vertes ne s'effectue pas d'une manière régulière et constante. Il est soumis à certaines conditions extérieures au végétal, au premier rang desquelles il faut placer l'influence de la lumière. Exposées à l'action directe des rayons solaires, les feuilles de *Potamogeton* produisent immédiatement un dégagement très-actif d'oxygène. Abrite-t-on le flacon qui les renferme au moyen d'un écran, le dégagement se ralentit d'abord et finit par s'arrêter tout à fait. Le vase est-il de nouveau exposé à la lumière, le dégagement recommence aussitôt. MM. Gratiolet et Cloëz ont même remarqué que le simple passage d'un nuage, qui obscurcissait momentanément l'éclat du soleil, suffisait pour produire un ralentissement sensible dans le dégagement. A la lumière diffuse, la décomposition de l'acide carbonique par les parties vertes ne s'arrête pas complétement, mais elle devient extrêmement lente. Dans l'obscurité, le phénomène est suspendu, et va même, dans certains cas, jusqu'à se produire en sens inverse. Certaines feuilles, en l'absence de la lumière, sont comme frappées d'inertie; elles n'absorbent ni ne dégagent rien. Tel est, en particulier, le cas des plantes aquatiques, comme l'ont constaté MM. Gratiolet et Cloëz.

Des feuilles de *Potamogeton perfoliatum*, de *Potamogeton crispum*, de *Ceratophyllum submersum*, de *Myriophyllum spicatum* et de *Nayas maxima* furent enfermées dans des flacons remplis d'eau distillée aérée, mais privée d'acide carbonique, et placés dans l'obscurité. Chaque jour on essayait l'eau au moyen de l'eau de baryte, et pas plus au bout de huit jours qu'au lendemain de l'expérience elle n'accusa trace d'acide carbonique produit.

D'autres feuilles, ainsi que nous l'apprend Théodore de Saussure, absorbent de l'oxygène et ne dégagent rien, au moins pendant les douze premières heures de leur exposition à l'obscurité. Telles sont les feuilles du *Crassula cotyledon*, du *Sempervivum tectorum*, du *Cactus opuntia*, de l'*Agave ameri-*

Digitized by Google

cana, du *Stapelia variegata*. Voici, du reste, quelques chiffres pour fixer les idées à cet égard :

Des feuilles de *Cactus opuntia*, occupant un volume de 119 centimètres cubes, ont été placées sous une cloche contenant 951 centimètres cubes d'air privé d'acide carbonique. Le lendemain, l'atmosphère avait diminué de 79 centimètres cubes, et l'air, au lieu de contenir 21 pour 100 d'oxygène, n'en contenait plus que 14 pour 100. Si l'on prolonge le séjour des feuilles de *Cactus* dans l'obscurité au delà de douze heures, elles continuent à absorber de l'oxygène jusqu'à ce qu'il en ait disparu environ 1 fois et 1/3 de leur volume, puis elles commencent à dégager des quantités appréciables d'acide carbonique.

Enfin, une troisième catégorie de feuilles, de beaucoup la plus nombreuse, aussitôt soustraites à l'action de la lumière, absorbent de l'oxygène et dégagent de l'acide carbonique. M. Boussingault, en répétant à l'obscurité l'expérience dont nous avons parlé en commencant, a vu que loin d'avoir perdu de l'acide carbonique au contact des feuilles comme en pleine lumière, l'air en avait, au contraire, gagné assez pour en contenir, à la sortie du ballon, une proportion double de celle qu'il avait en y entrant. Cette expérience pourrait laisser quelque doute. La plante tenant au sol, où ses racines ne cessent pas d'absorber de l'eau chargée d'acide carbonique, on peut se demander si le dégagement de ce gaz ne viendrait pas simplement de ce qu'elle ne décompose plus l'acide carbonique que ses racines font constamment affluer vers les feuilles. Mais Théodore de Saussure a observé le même fait sur des feuilles de chêne, de marronnier d'Inde, de faux acacia, de *Sedum reflexum* détachées de la plante et maintenues sous une cloche pleine d'air. Elles diminuaient le volume de leur atmosphère, de l'acide carbonique se produisait, et il disparaissait un volume d'oxygène un peu supérieur à celui de l'acide carbonique produit. Enfin, tout récemment, dans un travail exécuté dans un autre but, M. Boussingault vient encore de constater des résultats analogues. Voici les chiffres qui les expriment (1) :

Feuille de laurier-rose tenue à l'obscurité dans l'air atmosphérique.

	Gaz.	CO^2.	O.	Azote.
	cc.	cc.	cc.	cc.
Avant l'introduction de la feuille.	50,3	0,0	10,5	39,8
Après avoir retiré la feuille....	50,0	2,6	7,3	40,1
Différences.....	— 0,3	+ 2,6	— 3,2	+ 0,3

La lumière exerçant sur la respiration végétale une influence aussi incontestable, il était naturel de se demander quelles étaient, parmi les radiations élémentaires qui la composent, celles qui concouraient plus particulièrement à la production du phénomène. Pour résoudre cette intéressante question, MM. Gratiolet et Cloëz ont fait fonctionner leur appareil sous des cages vitrées avec des verres de diverses couleurs. Dans le but de rendre les résultats aussi comparables que possible, ils ont pris des précautions d'une extrême délicatesse pour qu'il y eut, dans chaque flacon, le même nombre de feuilles douées de la même force de végétation, et présentant en somme la même surface.

Voici les résultats obtenus dans une série de leurs expériences :

Durée de l'expérience.	Nature des verres employés.	Température de l'eau des flacons.	Volume du gaz recueilli.	Composition en 100cc déduction faite de l'acide carbonique.	
		degrés.	cc.	Oxygène.	Azote.
De 10 heures 45 min. à 2 heures.	Verre incolore dépoli	30,75	49	74,37	25,63
	— jaune —	31,00	45	72,97	27,03
	— incol. transpar.	34,50	30	63,05	36,95
	— rouge —	30,75	22	54,28	45,72
	— vert —	31,00	19	51,61	48,39
	— bleu —	29,50	16	45,62	54,38

Dans deux autres séries d'expériences analogues, les effets se sont produits dans le même sens, c'est-à-dire que l'ordre des couleurs est resté le même. Il semblerait donc légitime de conclure que les couleurs élémentaires exercent une action variable sur le phénomène ; mais il resterait encore à expliquer pourquoi, sous le verre dépoli et incolore, l'action a été plus énergique que sous le verre incolore et transparent. D'ailleurs, il convient d'apporter une grande réserve dans les conclusions à tirer de cette expérience. Les verres de couleur sont bien loin d'éteindre tous les rayons étrangers à leur couleur propre. Ils laissent toujours passer une forte dose de lumière blanche, et peut-être faut-il attribuer les variations observées aux quantités différentes de lumière blanche qui a frappé les feuilles au travers des verres employés. Pour que l'effet put être légitimement attribué à l'action des rayons colorés, il eût été nécessaire de produire ceux-ci au moyen d'un prisme. Quoi qu'il en soit, l'expérience de MM. Gratiolet et Cloëz présente un grand intérêt comme la première tentative faite par la science pour analyser l'action de la lumière sur les végétaux.

La chaleur n'est pas moins indispensable que la lumière pour que l'acide carbonique soit absorbé et réduit par les feuilles. Si l'on expose à la lumière des feuilles de *Potamogeton*, dans de l'eau à 4 degrés au-dessus de zéro, dont la température s'élève peu à peu, on observe que le dégagement d'oxygène ne commence qu'à 15 degrés. Si, au contraire, on abaisse successivement la température de l'eau, le dégagement continue jusqu'à 10 degrés, température au-dessous de laquelle il cesse complétement. Une fois commencé, le phénomène persiste donc à une température inférieure à celle qui détermine son évolution. L'ascension de la séve a donné lieu à une observation analogue.

La lumière et la chaleur sont donc, en définitive, les deux conditions qui règlent l'assimilation du carbone ; c'est leur intervention qui détermine la décomposition de l'acide carbonique par les feuilles. Rien de plus simple, d'ailleurs, que la loi qui régit ce phénomène. Lorsque le carbone se combine avec l'oxygène et qu'il y a formation d'acide carbonique, il se produit, en même temps, de la lumière et de la chaleur. Pour opérer la décomposition de l'acide carbonique, il faut nécessairement restituer à ses constituants la lumière et la chaleur qu'ils avaient abandonnées en se combinant. Les végétaux qui respirent absorbent donc de la lumière et de la chaleur qu'ils font passer à l'état latent. Cette faculté a pour nous une importance toute particulière, car la chaleur animale, celle que nous produisons dans nos foyers au moyen des combustibles d'origine organique, de même que nos lumières artificielles, n'ont pas d'autre source que les radiations calorifiques et lumineuses du soleil, recueillies, accumulées, et, pour ainsi dire, mises en réserve par la végétation.

« Voilà donc ce qui communique à vos locomotives leur puis-

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LX, p. 877.

Digitized by Google

sance et leur célérité, demandait à Stephenson un de ses amis, en lui montrant un tas de houille. — Non, répondit l'éminent ingénieur, c'est la lumière et la chaleur du soleil, condensées dans le charbon par la respiration végétale. »

S'il est vrai que, dans aucun phénomène, il n'y a création de matière, il est constant aussi qu'il n'y a, nulle part, ni perte ni création de forces. Les forces sont indestructibles au même degré que la matière elle-même. La matière change de forme et d'état, les forces se manifestent sous des modes différents; la lumière, la chaleur, l'électricité, l'affinité chimique et les effets mécaniques ne sont que des manifestations variées de la même force, toujours active et jamais anéantie.

Pour que sa puissance s'exerce dans le cas particulier qui nous occupe, il est naturellement indispensable que l'acide carbonique fasse partie des gaz qui environnent le végétal; mais encore faut-il qu'il n'y soit qu'en faible proportion, et, pour ainsi dire, très-dilué.

Théodore de Saussure avait déjà constaté que, dans une atmosphère d'acide carbonique pur, la plupart des plantes ne tardaient pas à se flétrir. Selon lui, la proportion maximum de cet acide, que pouvait contenir l'air atmosphérique pour rester propre à la respiration végétale, était de 12 pour 100. Il concluait également de ses expériences que, dans une atmosphère composée d'azote et d'acide carbonique ou d'hydrogène et d'acide carbonique, les plantes ne fixaient pas de carbone, et ces observations l'avaient conduit à poser la présence de l'oxygène comme une condition indispensable de l'assimilation du carbone. Mais les procédés suivis par le savant physiologiste pour déterminer la quantité de carbone fixée par les plantes étaient loin de comporter une précision suffisante. Aussi la nécessité de l'oxygène était-elle restée comme un point d'interrogation à la suite des conditions que je vous ai précédemment fait connaître. Dernièrement (1) M. Boussingault a montré que la fonction de ce gaz était purement mécanique, et qu'il agissait en abaissant la force élastique de l'acide carbonique. Ce qui le prouve, c'est que dans un mélange d'acide carbonique et d'azote, d'acide carbonique et d'hydrogène, la respiration végétale, contrairement à l'assertion de Théodore de Saussure, s'accomplit aussi bien que dans l'air commun. Voici les chiffres qui expriment ces résultats :

1° *Feuille de chêne exposée au soleil pendant quatre heures, dans un mélange d'air et d'acide carbonique.*

	Gaz.	CO^2.	O.	Az.
	cc.	cc.	cc.	cc.
Avant l'exposition.....	86,0	37,7	10,1	38,2
Après l'exposition.....	85,7	12,7	34,8	38,2
Différences.....	— 0,3	— 25,0	+ 24,7	0,0

2° *Feuille de laurier-cerise exposée au soleil pendant six heures, dans un mélange de gaz azote et d'acide carbonique.*

	Gaz.	CO^2.	O.	Az.
	cc.	cc.	cc.	cc.
Avant l'exposition.....	73,1	26,6	0,0	46,5
Après l'exposition.....	73,7	1,1	25,5	47,1
Différences.....	+ 0,6	— 25,5	— 25,5	+ 0,6

3° *Feuille de laurier-cerise exposée au soleil pendant six heures, dans un mélange de gaz hydrogène et d'acide carbonique.*

	Gaz.	CO^2.	O.	Az.
	cc.	cc.	cc.	cc.
Avant l'exposition.....	87,1	27,9	0,0	59,2
Après l'exposition.....	87,2	2,0	26,2	59,0
Différences.....	+ 0,1	— 25,9	+ 26,2	— 0,2

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LX, p. 872.

L'acide carbonique pur lui-même n'est pas complétement impropre à la respiration végétale. Elle y est seulement d'une lenteur extrême au début de l'expérience, et elle va ensuite s'accélérant à mesure que l'oxygène provenant des premières portions d'acide carbonique décomposé par la feuille vient s'ajouter au gaz mis en expérience.

En voyant l'acide carbonique se décomposer de plus en plus facilement à mesure qu'il était plus dilué, soit par l'oxygène, soit par un autre gaz inerte, M. Boussingault a eu l'idée de répéter l'expérience dans une atmosphère d'acide carbonique déprimé. Les feuilles ont exercé leur fonction réductrice aussi facilement que dans l'air commun. Le mystère se trouve donc dissipé. C'est une condition physique qui est nécessaire pour déterminer l'absorption de l'acide carbonique. Il faut que les molécules de ce gaz soient suffisamment écartées les unes des autres, ou, en d'autres termes, qu'il soit à un degré de diffusion convenable; comme, pour brûler spontanément dans l'oxygène, le phosphore exige que la tension de ce gaz soit inférieure à la pression atmosphérique. Cette analogie de conditions, par rapport à deux phénomènes aussi dissemblables, vous montre combien il est nécessaire de tenir compte de toutes les conditions physiques dans lesquelles les actes vitaux s'accomplissent si l'on veut s'en faire une idée nette et complète.

Vous connaissez maintenant, messieurs, le phénomène de la respiration végétale dans ses manifestations extérieures; vous savez qu'il se résume finalement dans une absorption d'acide carbonique et une émission d'oxygène. Son exercice dépend de quatre conditions également indispensables. La première de ces conditions est d'essence organique; elle consiste dans la présence de la matière verte dans les parties chargées de respirer; les trois autres sont indépendantes du végétal; ce sont : 1° l'action directe des rayons solaires; 2° une température convenable; 3° la présence de l'acide carbonique dans l'atmosphère à un certain état de dilution. Pour traiter complétement le sujet qui nous occupe, il nous faudrait maintenant étudier le mécanisme intérieur de l'assimilation du carbone. Malheureusement, sur ce second point nous ne possédons encore que des données insuffisantes; il ne sera cependant pas inutile de vous les présenter à la condition de marquer nettement les contradictions et les lacunes qui s'opposent à ce que l'on puisse arriver à des conclusions certaines et générales.

La science est redevable à MM. Gratiolet et Cloëz d'une observation des plus délicates, qui nous fournit un précieux renseignement sur le mécanisme physiologique de l'assimilation du carbone, au moins chez les plantes aquatiques. Ces observateurs ont remarqué que des feuilles de *Potamogeton* contenues dans un bassin du Jardin des plantes, lorsqu'elles étaient frappées des rayons du soleil, se recouvraient d'un léger dépôt pulvérulent qui a été reconnu pour du carbonate de chaux presque pur. L'eau du bassin contenant du carbonate calcaire en dissolution à la faveur d'un excès d'acide carbonique, le dépôt de ce sel s'explique tout naturellement par l'absorption, par la feuille, de l'acide carbonique de l'eau avec laquelle elle était en contact. Mais ce qui est très-remarquable, c'est que ce dépôt ne s'effectue jamais que sur la face supérieure des feuilles, quelle que soit d'ailleurs leur position. On est donc forcé d'admettre que l'absorption de l'acide carbonique se fait exclusivement par la face supérieure des feuilles. Quant au dégagement de l'oxygène, MM. Gratiolet et Cloëz

Digitized by Google

ont constaté, sur des tronçons de tiges de plantes aquatiques garnis de feuilles, qu'il se produisait principalement à l'extrémité radiculaire. L'oxygène, devenu libre par la décomposition de l'acide carbonique, au lieu de se dégager immédiatement au dehors, s'accumule dans les méats intercellulaires des nervures et des tiges d'où il s'échappe, en partie, par de petits pores latéraux. Il se produit ainsi une sorte de courant intérieur qui se dirige des feuilles vers les racines, et qui ne reste certainement pas étranger à l'élaboration des sucs végétaux avec lesquels il se rencontre.

Ces faits, certains pour quelques plantes aquatiques, se reproduisent-ils chez tous les végétaux indistinctement? C'est une question à laquelle l'état actuel de la science ne nous permet pas de répondre.

La décomposition de l'acide carbonique par les feuilles est certainement l'un des faits les plus surprenants qu'il ait été donné à la science de constater; aussi sa découverte ne s'est-elle produite que peu à peu, et, pour ainsi dire, par le concours de toute une génération de savants. Entre les observations de Bonnet, qui vit pour la première fois des bulles de gaz se dégager de feuilles plongées dans de l'eau de source, mais ne sut pas rattacher ce fait à sa véritable cause, et les derniers travaux sur cette question, il s'est écoulé plus d'un siècle. La science s'est successivement enrichie des observations de Priestley, qui a vu le premier que les plantes purifiaient l'air vicié par la respiration animale ou par la combustion, mais qui connaissait si peu les conditions essentielles du phénomène qu'il avait observé, que, pendant dix ans, il essaya vainement de le reproduire ; d'Ingenhousz, qui découvrit l'influence de la lumière ; de Sennebier, qui montra que le gaz produit était de l'oxygène, et le gaz absorbé de l'acide carbonique. Théodore de Saussure, à qui nous devons tant d'observations et d'expériences sur la végétation, reprit et vérifia les travaux de ses devanciers, et voulut analyser plus profondément le phénomène qu'ils s'étaient contentés de constater. Il en précisa mieux les conditions déterminantes, et s'attacha ensuite à déterminer le rapport qui existe entre l'acide carbonique absorbé et l'oxygène dégagé, ainsi qu'à définir la nature et la quantité des autres gaz, dont le dégagement par les feuilles accompagne la réduction de l'acide carbonique. D'après Théodore de Saussure, les choses se passent de la manière la plus simple. L'acide carbonique disparu est remplacé par un mélange d'oxygène et d'azote sensiblement égal au volume de l'acide carbonique absorbé, et dans lequel la proportion de l'oxygène est très-fortement prédominante.

Voici, au surplus, quelques chiffres qui justifient cette assertion :

Expériences sur six pervenches (*Vinca minor* L.)

	COMPOSITION DE L'ATMOSPHÈRE.	
	Au début de l'expérience.	A la fin de l'expérience.
	cc.	cc.
Azote	4199	4338
Oxygène	1116	1408
Acide carbonique	431	0
Total	5746	5746

L'expérience avait duré six jours, et la substance des pervenches pesait sèche 2gr,707.

Malheureusement, ce résultat, vrai dans son ensemble, est certainement erroné dans les chiffres qui l'expriment. Les six pervenches auraient perdu, d'après Saussure, 139 centimètres cubes d'azote. Or, cette perte est matériellement impossible, car, en supposant les pervenches beaucoup plus azotées que ces plantes ne le sont d'ordinaire, elles ne contenaient au plus que 60 ou 70 centimètres cubes d'azote. On ne peut s'expliquer comment un expérimentateur aussi habile que Théodore de Saussure a pu commettre une erreur aussi grave. Les renseignement qu'il fournit sur son expérience ne permettent pas de remonter à la source de cette erreur ; toujours est-il qu'elle existe, et qu'il était, par conséquent, nécessaire de répéter cette expérience.

Dans leurs recherches sur la respiration des plantes aquatiques, MM. Gratiolet et Cloëz ont constamment trouvé de l'azote dans le gaz oxygène dégagé par les plantes. Ils ont même constaté que cet azote allait diminuant à mesure que l'expérience était prolongée plus longtemps. Ils se sont assurés, par une expérience spéciale, que cet azote ne pouvait provenir ni de l'eau employée, qu'on avait eu soin de faire bouillir avant l'expérience, ni des gaz retenus dans les pores de la plante, son volume étant plus grand que celui de la plante elle-même. L'azote recueilli devait donc être attribué, au moins en partie, à une perte éprouvée par la substance du végétal. Mais alors la plante devait être moins azotée après l'expérience qu'à son début ; c'est effectivement ce qui a lieu :

	Azote dans 100 parties de matière sèche.
Avant l'expérience	5,23
Après six jours d'expérience	3,74

Il est donc incontestable que, dans les conditions où MM. Gratiolet et Cloëz ont opéré, la plante perd de l'azote en même temps qu'elle décompose l'acide carbonique. Mais, peut-on conclure de ce qui se passe avec un fragment de plante, placé dans des conditions si anormales à ce qui a réellement lieu dans la nature? évidemment non. Des feuilles détachées de la plante mère, des tronçons de tiges peuvent bien, à la vérité, conserver quelques manifestations vitales, comme une machine qui épuise son effet; mais on ne peut véritablement pas les considérer comme l'équivalent d'un végétal dans la plénitude de ses fonctions. Dans une plante en voie de développement, il afflue incessamment par les racines, dans toutes ses parties, des produits tirés du sol qui contribuent pour une part importante à la nutrition du système entier. Or, dans les feuilles séparées, ces produits font défaut; et quoiqu'il y reste assez de vie pour absorber et réduire l'acide carbonique, le phénomène se complique nécessairement. Une partie de la substance des feuilles s'altère, et il se forme à ses dépens des produits transitoires avec lesquels le carbone tiré de l'acide carbonique doit se combiner. Cette altération préalable qui détruit l'équilibre entre les éléments premiers des feuilles, détermine vraisemblablement le dégagement d'azote observé par Saussure et par MM. Gratiolet et Cloëz, et, par conséquent, on ne peut conclure sans autre preuve que les végétaux, dans leur état d'intégrité, dégagent de l'azote. Les expériences dans lesquelles ce fait s'est produit sont incomplètes, et l'on ne pourra prononcer définitivement qu'après les avoir répétées sur des végétaux entiers et dans des conditions normales de développement.

Tel était l'état de la question lorsque M. Boussingault, tout

Digitized by Google

récemment (1), a jugé nécessaire de la reprendre et de l'étudier dans des conditions toutes nouvelles. Le long mémoire qu'il a publié et qui renferme un grand nombre d'expériences paraît au premier abord devoir fournir à la solution cherchée un contingent important de faits incontestables. Malheureusement, lorsqu'on le discute de près, cet espoir s'évanouit et l'on est forcé de reconnaître que malgré les laborieuses recherches du savant académicien, la question n'a pas fait un pas. En effet, dans les quarante et une expériences rapportées dans son mémoire, M. Boussingault opère comme tous ses prédécesseurs, sur des feuilles détachées de la plante qui les a produites. De plus, il fait respirer dans l'eau ces feuilles appartenant pour la plupart à des végétaux aériens, et, pour comble de mauvais traitements, avant d'exposer les feuilles au soleil, il porte l'eau dans laquelle elles sont plongées à 45 ou 50 degrés, « température peu éloignée, un peu inférieure à celle où cesse la vitalité de la plante ».

Que conclure d'expériences faites dans des conditions aussi antiphysiologiques que celles que nous venons d'énumérer? Mais passons sur les conditions. Les résultats obtenus sont-ils au moins probants sous le rapport de l'exactitude analytique? A notre grand regret nous sommes forcé de répondre par la négative. M. Boussingault avait annoncé que les feuilles ne dégageaient pas d'azote et que ce que l'on avait pris pour ce gaz était en réalité de l'oxyde de carbone. Ce résultat était trop inattendu pour ne pas soulever des doutes et provoquer de nouvelles recherches. Or, il résulte du contrôle auquel il a été soumis, que le gaz examiné par M. Boussingault était bien réellement de l'oxyde de carbone, mais qu'il provenait des réactifs employés.

M. Corenwinder a démontré dernièrement l'absence complète de l'oxyde de carbone parmi les produits de la respiration végétale, à l'aide d'une expérience aussi concluante que bien ordonnée. Les plantes étaient prises en pleine végétation, toute la tige était enfermée dans une grande cloche, tandis que les racines restaient dans le sol où elles continuaient d'absorber les éléments nécessaires à la nutrition du végétal. Un courant d'air ordinaire, déterminé par l'écoulement de l'eau d'un aspirateur, passait, d'abord sur les plantes, puis dans une éprouvette remplie de pierre ponce imbibée de potasse où il se débarrassait de son acide carbonique. Il traversait ensuite un tube rempli d'oxyde de cuivre maintenu au rouge par un fourneau à gaz. La moindre trace d'oxyde de carbone contenue dans l'air du courant gazeux devait se transformer en acide carbonique en passant sur l'oxyde de cuivre. C'est, d'ailleurs, ce qu'a prouvé l'expérience directe toutes les fois que l'on a dégagé dans la cloche quelques traces d'oxyde de carbone. Au sortir du tube à oxyde de cuivre les gaz traversaient de l'eau de baryte que la moindre trace d'acide carbonique aurait troublée. Or, quelle que fût la plante soumise à l'expérience, et quelle qu'en fût la durée, au soleil ou à l'ombre, l'eau de baryte est toujours restée parfaitement limpide. Les plantes n'émettent donc pas d'oxyde de carbone pendant leur respiration. D'où venait donc l'oxyde de carbone recueilli par M. Boussingault? Nous l'avons dit, d'une erreur d'analyse. C'est M. Calvert qui s'est chargé de nous l'apprendre. Lorsqu'on se sert d'une dissolution de pyrogallate de potasse pour absorber l'oxygène contenu dans un mélange gazeux, il se dégage de l'oxyde de carbone, et c'est pour avoir employé ce réactif que M. Boussingault est tombé dans l'erreur que je vous ai signalée. Il est donc bien établi que, dans les expériences que nous discutons, l'oxyde de carbone recueilli provenait des réactifs et, si quelque chose a lieu de surprendre, c'est assurément que l'auteur ait republié son mémoire, depuis que M. Calvert et M. Cloëz en ont réfuté le résultat principal, sans mettre le lecteur en garde contre l'erreur reconnue.

En définitive, tout ce que nous savons sur l'assimilation du carbone peut se résumer en un petit nombre de propositions très-simples.

1° C'est dans l'acide carbonique atmosphérique que les plantes puisent leur carbone.

2° Elles ont la faculté de réduire ce gaz à l'aide de leurs parties vertes, et d'en dégager l'oxygène.

3° Ce travail, qui a reçu le nom de respiration végétale, est soumis à trois conditions extérieures que nous avons fait connaître dans tous leurs détails.

4° Le volume du gaz oxygène dégagé est toujours très-voisin de celui de l'acide carbonique absorbé. Le sens des phénomènes se trouve ainsi nettement défini, mais leur équation a échappé jusqu'ici aux recherches de la science.

Heureusement, à l'inverse de l'assimilation de l'azote, l'assimilation du carbone n'intéresse qu'à un très-faible degré la pratique agricole, l'atmosphère étant chargée d'en faire tous les frais. Mais si, pour l'agriculture, elle ne peut être qu'un objet de curiosité, il est loin d'en être de même pour la physique du globe. Par les masses énormes de matière qu'elle met en œuvre, la végétation exerce sur l'atmosphère une influence qui ne tarderait pas à en altérer la composition, si d'autres causes ne venaient incessamment compenser ses effets. Si l'on calcule, pour la France seulement, ce que la culture prélève, chaque année, de carbone sur l'atmosphère, on est conduit, en estimant les choses au plus bas, au chiffre énorme de 60 millions de tonnes, dont voici, au surplus, la justification par spécialité de culture.

Nature des cultures.	Surfaces cultivées.	Carbone absorbé.
	hectares.	tonnes.
Cultures et prés.....	30 659 255	41 910 000
Forêts et vignes.....	9 776 334	18 320 000
Olivets, amandiers, mûriers...	109 261	
Châtaigneraies.....	559 029	
Surface totale.....	41 103 879	
Total du carbone absorbé.....		60 230 000

Ces quantités sont, en réalité, si considérables, que, s'il n'existait pas dans la nature des sources d'acide carbonique capables de rendre à l'atmosphère ce qu'elle a perdu, un petit nombre d'années suffirait à la végétation pour épuiser tout l'acide carbonique dont elle dispose. Depuis la belle observation de Priestley, nous savons que les animaux agissent à l'inverse des plantes; qu'ils rendent à l'air de l'acide carbonique par la combustion d'une partie de leurs aliments; mais cette source, si puissante qu'elle soit, ne suffirait cependant pas à contre-balancer les effets de la végétation. En France, en effet, la respiration des hommes et des animaux, augmentée de tout l'acide carbonique produit par les combustibles qu'on y consomme, rend à peine à l'atmosphère 33 millions de tonnes de carbone dans le cours d'une année, alors que la végétation en distrait 60 millions de tonnes dans le même laps de temps.

D'autres phénomènes compensent heureusement le déficit.

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LIII, p. 862. — *Agronomie, chimie agricole et physiologique*, par M. Boussingault, 2e édition, t. III, p. 266.

Digitized by Google

On doit citer en première ligne les volcans, la formation des pyrites et la décomposition spontanée des matières organiques, qui s'accomplit sans interruption à la surface du globe. Toutes ces causes réunies déversent dans l'air beaucoup plus d'acide carbonique que n'en absorbe la végétation. La différence en leur faveur est même si grande qu'elles finiraient par rendre notre atmosphère délétère et inhabitable si un nouveau phénomène, assez puissant, n'intervenait pour rétablir définitivement l'équilibre et maintenir à la composition de l'air l'immuable fixité attestée depuis cinquante ans par les analyses les plus délicates. Ce phénomène nouveau, qui, avec les volcans, mais en sens inverse, domine tous les autres, est la désagrégation des feldspaths, qui change les roches ignées en kaolins et en argiles. La désagrégation d'une couche de feldspath orthose de 7 millimètres d'épaisseur suffirait, selon Ebelmen, pour absorber tout l'acide carbonique de l'air si elle s'étendait à toute la surface du globe.

Il résulte de là que les conditions qui président à la conservation des êtres vivants ne sont pas aussi simples qu'on le supposait au siècle dernier. Les phénomènes géologiques dominent ceux de la nature animée, et la science de nos jours s'est enrichie à cet égard de notions nouvelles de l'ordre le plus élevé; toutefois, si importantes que soient ces notions, c'est à Priestley, comme nous l'avons déjà dit, qu'appartient la gloire d'avoir ouvert la voie qui devait y conduire. Voici, dans l'état de nos connaissances, comment on peut représenter le conflit des phénomènes dont le cours assure à notre atmosphère la fixité de sa composition.

Les animaux	*Les végétaux*
Absorbent de l'oxygène,	Dégagent de l'oxygène,
Dégagent de l'acide carbonique,	Absorbent de l'acide carbonique,
Produisent de l'ammoniaque,	Absorbent de l'ammoniaque,
Dégagent de l'azote.	Absorbent de l'azote.
Les produits morts en se décomposant	*Les végétaux*
Absorbent de l'oxygène,	Dégagent de l'oxygène,
Dégagent de l'acide carbonique,	Absorbent de l'acide carbonique,
Produisent de l'ammoniaque,	Absorbent de l'ammoniaque.
Dégagent de l'azote.	Absorbent de l'azote.

PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES.

Produisant de l'acide carbonique :	*Absorbant de l'acide carbonique :*
Les volcans,	La désagrégation des roches éruptives.
La formation des pyrites,	
La destruction lente des matières organiques des terrains stratifiés (houille, lignite, bitume).	La formation de la houille et de la tourbe.

Voulez-vous enfin comparer les effets produits par les forces organiques dans les conditions qui leur sont faites par notre état social? Le tableau suivant vous en offre les moyens:

EFFETS PRODUITS, EN FRANCE, SUR L'ATMOSPHÈRE PAR LA POPULATION, LES ANIMAUX ET LA VÉGÉTATION DANS LE COURS D'UNE ANNÉE DE 365 JOURS.

		LA POPULATION		
	Nombres de l'unité.	Absorbe oxygène.	Dégage azote.	Dégage carbone.
		tonnes.	tonnes.	tonnes.
Enfants et femmes non mariées	0,972,233	2,056,900	23,900	630,400
Hommes mariés	0,983,217	2,584,100	19,000	799,600
Hommes veufs	836,509	309,400	2,000	95,300
Enfants et hommes non mariés	9,351,794	1,663,000	15,600	522,200
Femmes mariées	6,948,830	1,235,700	11,600	388,100
Femmes veuves	1,687,587	300,100	2,800	94,200

		LES ANIMAUX		
		Absorbent oxygène.	Dégagent azote.	Dégagent carbone.
		tonnes.	tonnes.	tonnes.
Chevaux	2,801,667	5,845,200	30,700	2,550,500
Bêtes à cornes	9,883,050	20,619,400	108,200	9,018,300
Moutons	31,804,247	16,619,900	87,200	7,269,000
Porcs	4,852,924	3,795,800	7,800	1,170,800
Chèvres	845,778	441,100	2,300	192,000
Mulets	356,887	765,300	4,000	334,700
Anes	408,355	852,000	4,500	372,600
Chiens	4,500,000	211,900	2,000	65,700

		L'INDUSTRIE		
Par les combustibles qu'elle consomme		Absorbe oxygène.	Dégage azote.	Dégage. carbone.
	quintaux métriq.	tonnes.		tonnes.
Houille	49,870,273	10,945,200	»	4,189,100
	stères.			
Bois	34,570,585	13,879,400	»	5,312,100
Populat., animaux, industrie, ensemble		82,124,400	322,400	33,007,500

		LA VÉGÉTATION		
	Surface des cultures.	Dégage oxygène.	Absorbe azote.	Absorbe. carbone.
	hectares.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Cultures et prés	30,659,254	125,420,000	1,530,000	41,910,000
Forêts et vignes	9,776,334	54,820,000	350,000	18,320,000
Olivets, amandiers, mûriers	109,261			
Châtaigneraies	559,020			
Végétation		180,240,000	1,880,000	60,230,000

Ces résultats ont été calculés sur les recensements de 1851.

Indépendamment de l'azote et du carbone, les végétaux admettent dans leur composition de l'hydrogène et de l'oxygène. On peut dire, d'une manière générale, que ces deux éléments ont pour origine l'eau que les racines puisent dans le sol. Les plus grands physiologistes du dernier siècle : Sennebier, Ingenhousz, Spallanzani, se sont beaucoup préoccupés de la question de savoir si les plantes solidifient l'eau et se l'assimilent dans son intégrité, ou si elles lui font subir une réduction analogue à celles qu'elles exercent sur l'acide carbonique. Berthollet inclinait en faveur d'une réduction; Sennebier partageait la même opinion, et cependant ils ne pouvaient invoquer aucune expérience décisive. Ils ont tenté vainement de constater un dégagement d'oxygène en l'absence de l'acide carbonique. Il ne pouvait en être autrement : dans une atmosphère privée d'acide carbonique, la plante se trouve dans des conditions anormales; son existence ne suit plus son cours régulier, et l'on ne peut plus conclure des phénomènes que l'on observe alors à ce qui se passe réellement dans la nature. L'assimilation de l'hydrogène est un acte corrélatif de l'assimilation du carbone; vouloir isoler ces deux faits, c'est véritablement tenter l'impossible.

Aujourd'hui même ce n'est que par induction que nous pouvons pressentir ce qui se passe. L'amidon, le sucre, les gommes, la cellulose, tous les produits, en un mot, que nous avons désignés sous le nom d'hydrates de carbone renferment l'oxygène et l'hydrogène dans les proportions de l'eau. La composition de ces produits, qui forment plus des trois quarts de la masse des végétaux, semble donc attester que l'eau peut être fixée intégralement et sans réduction préalable.

Mais il existe au sein des végétaux d'autres composés, moins répandus, il est vrai, cependant très-abondants chez certaines espèces, dans lesquels la proportion d'hydrogène est prédominante sur celle de l'oxygène : tels sont les corps gras,

Digitized by Google

les résines, certaines essences, etc. Il s'en produit même dont l'oxygène est complétement exclu, comme l'essence de térébenthine et ses congénères. Le pin maritime, d'où exsude cette substance, prospère sur les plus mauvaises terres, sur le sable des dunes, où il ne vit guère que d'air et d'eau. Par la résine et par l'essence qu'ils engendrent, les végétaux de cet ordre semblent attester que l'eau subit au sein de leur organisme la même décomposition que l'acide carbonique.

Je n'insisterai pas davantage sur ce point. Quelle que soit la réaction qui détermine la fixation de l'hydrogène et de l'oxygène au sein de l'économie végétale, qu'il y ait assimilation pure et simple de l'eau ou réduction préalable, il est certain que ces deux éléments ont l'eau pour origine; qu'ils appartiennent à la catégorie de ceux dont les végétaux sont toujours surabondamment pourvus par la nature et dont la pratique agricole n'a point à se préoccuper.

Messieurs, nous venons de parcourir un domaine étendu et d'acquérir des notions variées sur la végétation. Malgré leur importance, ces notions sont cependant insuffisantes pour expliquer la formation des végétaux. Le grand problème de la production végétale, qui tient par tant de côtés à nos intérêts les plus immédiats, exige, pour être défini et surtout résolu, que nous fassions de l'assimilation des éléments minéraux que les végétaux admettent dans leur composition une étude aussi attentive que celle que nous venons de faire de l'assimilation des éléments organiques. C'est seulement après avoir acquis les notions nouvelles que cette étude, longue, laborieuse et complexe, aura mises en pleine lumière, que nous pourrons formuler avec certitude les lois qui règlent la production végétale. Alors l'agriculture perdra à nos yeux le caractère d'un art empirique et précaire pour s'élever au rang d'une science véritable. Alors il ne pourra plus être question de subordonner le rendement des récoltes à la production du fumier, qui cessera lui-même d'être considéré comme l'agent par excellence de la fertilité. Nous acquerrons des preuves sans nombre qu'il est possible de régler avec une précision inespérée et presque mathématique le rendement des cultures à l'aide des agents premiers qui entrent dans la composition des végétaux, à condition toutefois de les employer avec discernement.

H. Joulie, pharmacien en chef de l'hôpital Saint-Antoine.

FIN DU COURS.

BULLETIN DES COURS.

Nous empruntons au discours que vient de prononcer M. Dumas à la distribution des prix de l'*Association polytechnique* le passage suivant, qui résume en traits rapides les progrès des sciences depuis cent ans et emprunte au nom de son auteur une autorité considérable.

« En 1765, l'emploi des forces de la nature se réduisait à celui des moteurs animés, aux moulins à vent et à eau. La chaleur n'avait pas été convertie en puissance mécanique universelle, la machine à vapeur n'existait pas. Le soleil marquait par ses retours les heures de la vie de l'homme; mais Niepce et Daguerre n'avaient pas asservi sa lumière à devenir l'instrument docile de l'art ; la photographie n'était pas soupçonnée. L'électricité, simple jouet alors, n'avait donné ni la pile de Volta, qui dissocie les composés les plus rebelles ; ni la galvanoplastie, qui moule les métaux sans le secours du feu; ni les phares brillants du cap de la Hève ; ni la télégraphie électrique, l'une des merveilles du monde moderne, due au génie d'Ampère; ni l'appareil formidable de Ruhmkorff, rival de la foudre et juste objet de la récompense la plus haute. La chimie n'existait pas. Lavoisier n'avait pas immortalisé son nom par ces découvertes qui éclairent les rapports réciproques des matières dont la surface du globe est formée des mêmes clartés que Newton avait répandues sur les rapports réciproques des astres qui peuplent les cieux.

» L'air, l'eau, les terres, n'avaient pas été décomposés; la nature des métaux et celle du charbon étaient méconnues; les acides, les alcalis, les sels, instruments de tant d'industries, n'offraient que d'obscurs problèmes; la cause de la combustion était ignorée; l'existence des gaz, distincts de l'air atmosphérique, n'était pas constatée; les principes des plantes et des animaux n'étaient pas définis ; leur respiration était un mystère, leur nutrition une énigme ; l'agriculture, une pratique aveugle et dévastatrice qui, ruinant tour à tour les diverses contrées du globe, n'avait permis à aucune civilisation de se fixer en permanence sur aucune d'elles.

» Ces mouvements, ces échanges, ces transformations qui agitent la matière à la surface du globe, et qui en métamorphosent sans cesse l'aspect selon les lieux et les saisons, n'avaient aucun sens pour nos ancêtres. Ce circuit toujours en action, qui nourrit les plantes aux dépens de la terre, les animaux aux dépens des plantes, et qui restitue à la terre, par la dépouille des animaux, ce qu'elle avait perdu ; ces harmonies de la nature que nos fermiers eux-mêmes connaissent maintenant, il y a cent ans les plus grands génies ne les soupçonnaient pas.

» La géologie n'avait inspiré que des romans; l'écorce du globe n'avait pas été explorée; l'histoire de sa formation n'avait pas été écrite encore de ces mains sûres qui, dans la description des environs de Paris, ont fait voir, dans les restes fossiles qu'un terrain contient, le signe infaillible de sa nature ; qui, dans l'histoire des soulèvements de la surface du globe, ont révélé l'âge relatif des chaînes de montagnes, et retrouvé l'état civil des Alpes, des Pyrénées et de leurs rivales.

» Des milliers de plantes avaient été récoltées et nommées, mais Jussieu ne les avait pas encore classées en familles naturelles; Cuvier n'avait pas appliqué les mêmes lois au règne animal. On ne pouvait donc pas embrasser d'un regard sûr l'ensemble de la nature, depuis ces lichens éphémères qui, au sommet des Alpes et aux confins du pôle, marquent les dernières palpitations de la vie, jusqu'à ces géants des forêts tropicales dont l'existence remonte au delà des temps historiques; depuis ces productions microscopiques équivoques, dernier argument des partisans de la génération spontanée, jusqu'à l'homme, image de Dieu. On ne pouvait pas, guidé par Cuvier, par Brongniart, remontant d'âge en âge, reconstituer dans leur structure, leur aspect et leurs habitudes mêmes, les animaux et les plantes qui ont précédé l'apparition de l'homme sur la terre, et qui nous ramènent, d'époque en époque, jusqu'au moment où la vie s'y manifestait pour la première fois.

» ....Aujourd'hui l'humanité a conquis le droit de dire :

» La nature matérielle et les forces auxquelles elle obéit n'ont plus de secrets que je ne connaisse ou que je ne puisse connaître un jour;

» L'histoire de la terre n'a plus rien de mystérieux pour moi; j'assiste à ses premiers âges; je reconstitue les populations qu'elle a nourries; je sais la date précise des transformations de sa surface;

» Mon œil pénètre la profondeur de l'univers; j'assigne à chaque astre sa place et la courbe où il est tenu de se mouvoir ;

» Je pèse le soleil et j'analyse les substances dont il est formé, comme si elles pouvaient passer à mon creuset, et je puis dire même de quels éléments chimiques se composent ces étoiles qui décorent la voûte céleste, celles même dont la lumière emploie des siècles à parvenir du foyer qui l'émet à l'observateur qui en opère la dissection sur la terre;

» Je joue avec les forces de la nature; je transforme la lumière en chaleur, la chaleur en lumière, l'électricité en magnétisme, le magnétisme en électricité, toutes ces formes de l'activité en puissance mécanique; je convertis les uns dans les autres les composés de la chimie; j'imite tous les procédés de la nature morte et la plupart de ceux de la nature vivante; je rends à volonté la terre fertile ou stérile; je lui donne ou lui enlève le pouvoir de nourrir les plantes;

» La mécanique animale est un livre ouvert où, depuis l'œuf qui vient de recevoir la vie jusqu'à la mort de l'être auquel il a donné naissance, je lis sans obscurité le rôle du sang qui circule, celui du cœur qui bat et du poumon qui respire, celui des muscles qui obéissent, des nerfs qui portent les ordres et du cerveau qui commande, celui de l'estomac qui digère et du chyle qui rajeunit le sang épuisé;

» Je plie à mon usage toutes les forces et tous les dons de la terre; je me sers même de forces dérivées qu'elle ignore peut-être, et de substances complexes qu'elle n'a probablement jamais produites. »

Le propriétaire-gérant : Germer Baillière.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE NUMÉRO 15 10 MARS 1866

ACADÉMIE DES SCIENCES.

Séance publique du 5 mars 1866.

M. COSTE.

Éloge historique de du Trochet.

Lorsqu'un homme s'est consacré tout entier aux actives méditation de la science, l'histoire de sa vie puise son plus vif intérêt dans l'exposé fidèle des travaux qui ont fait ses joies, ses tourments et sa gloire.

Cette pensée ne saurait mieux s'appliquer qu'au savant dont j'ai à vous entretenir aujourd'hui.

Disciple enthousiaste de Spallanzani dans le grand art d'interroger la nature vivante, M. du Trochet a attaché son nom à une immortelle découverte, l'endosmose, et à des études d'embryogénie comparée, qui ont élargi la voie par laquelle la physiologie expérimentale marche à la conquête des lois de la vie.

Il portait si loin et si haut l'ambition de connaître qu'un jour, à la vue du phénomène qui lui révéla les plus mystérieuses fonctions de l'organisme, il se crut en possession de l'agent diret du principe vital lui-même. Téméraire entraînement que peuvent blâmer ceux qui ont mission de contenir la science dans les limites d'une austère précision, mais dont il ne faut pas décourager les vaillants esprits qui ont ce don du ciel qu'on appelle le génie, dans un siècle surtout où nous voyons sortir du laboratoire les merveilleuses inventions qui dépassent, en pratiques usuelles, les plus chimériques fictions de la mythologie.

René-Joachim-Henri du Trochet naquit au château de Néon, dans le département de l'Indre, le 14 novembre 1776, de René-Louis-Frédéric, comte du Trochet, marquis de Néon, officier au régiment du roi, infanterie, et de Madeleine-Charlotte-Marie de Gallois, riche héritière de parents déjà âgés qui habitaient la Touraine, aux environs de Château-Renault.

Il eut le malheur de naître pied-bot à une époque où l'orthopédie n'existait pas encore, et son infirmité était telle que, lorsqu'on le mettait debout, tout son corps portait sur les malléoles. Aussi, les hommes de l'art les plus renommés déclarèrent-ils que cette déformation congénitale était incurable.

Mais notre providence à tous dans ce monde, la tendresse maternelle, n'accepta pas une condamnation qui lui ravissait son plus cher espoir. Elle chercha ailleurs ses moyens de délivrance, et les rencontra dans sa foi en une croyance populaire : croyance qui attribuait aux exécuteurs des hautes œuvres en général, et à celui de Vendôme, en particulier, un secret souverain pour la réduction des fractures et des luxations.

Le jeune patient fut donc conduit à Vendôme et placé dans une maison de confiance où Montagne, c'était le nom du sinistre praticien, venait lui donner ses soins. Montagne rompit en plusieurs endroits les jambes de l'innocente créature, les redressa, les consolida non-seulement de manière à rendre la marche possible, mais encore à en assurer la régularité.

Après ce résultat inespéré, l'enfant fut ramené à Chareau, maison de campagne de sa grand'mère maternelle, où sa mère passait la majeure partie de son temps, pendant que son mari était au régiment. C'est là que s'était groupée toute la famille ; c'est là que s'écoulèrent les premières années de la jeunesse de M. du Trochet ; c'est là qu'il trouva une modeste mais suffisante aisance, quand la révolution eut confisqué tous les biens provenant du chef paternel; c'est là qu'il devait encore venir demander l'hospitalité, même après son élection à l'Académie, son traitement ne pouvant suffire aux dépenses de sa résidence à Paris. Singulière anomalie, en un temps où la science crée toutes les richesses des nations !....

En 1785, à l'âge de huit ans, il entra au collége de Vendôme, tenu alors par les Oratoriens. Il eut pour professeurs deux hommes qui ont joué un triste rôle sur la scène politique, Isabeau et Fouché, et pour condisciple le jeune Cazes de Libourne, qui fut plus tard le duc de Cazes.

En septembre 1791, après de brillantes études, il sortit du collége à l'âge de quinze ans, pour rentrer à Chareau, au sein de sa famille.

La révolution se précipitait vers son redoutable dénoûment. Le père de M. du Trochet crut devoir briser son épée pour ne point fausser son serment; il émigra. Tous ses biens situés en Poitou furent confisqués, et la pauvre famille délaissée serait restée sans ressources si, par comble de malheur, la grand'mère maternelle fût morte en ces temps de trouble et de proscription ; car son héritage, révolu par succession à un émigré, commun en bien avec sa femme, aurait été vendu à son tour.

En 1799, M. du Tronchet fut atteint par la loi de la conscription et désigné sur sa demande, pour le service de l'armée navale, vers laquelle l'entraînait un secret penchant. Il partit pour Rochefort en 1800, comme novice timonier, à la solde de douze francs par mois. Il ne tarda pas à s'apercevoir qu'à son âge (il avait vingt-trois ans) peu de chances d'avancement lui étaient réservées dans cette carrière. Il résolut

Digitized by Google

donc de se soustraire à la mauvaise situation dans laquelle il s'était volontairement placé.

Une armée royale s'organisait dans le Maine sous les ordres de M. de Bourmont. Deux des frères de M. du Trochet y étaient accourus et y servaient en qualité d'officiers. L'un d'eux le pressa de venir les rejoindre. Il répondit à cet imprudent appel. Heureusement pour lui le coup d'État du 18 brumaire, en mettant le gouvernement dans les mains du général Bonaparte, inaugurait un ordre de choses pour lequel il était de bonne politique de pacifier les départements de l'ouest par un arrangement avec les chefs de l'armée royale. Cette pacification préserva M. du Trochet du malheur de prendre part à la guerre civile, et il s'en félicite avec une naïve et touchante bonne foi dans un manuscrit confident de ses pensées. « Je n'ai pas eu, dit-il, à prendre part à la » guerre civile dans laquelle il est probable que j'aurais perdu » la vie; j'avais fait là une grande sottise, je l'avoue, mais » j'avais été entraîné par l'exemple de mes frères; j'avais » agi sans aucune réflexion. Je fis ma soumis au gouverne- » ment consulaire, et j'en reçus le bienfait de l'amnistie. »

Rendu à la vie tranquille, M. du Trochet revint à Chareau, où il resta jusqu'à la fin de 1802, se livrant exclusivement au stérile plaisir de la chasse, et supportant impatiemment son oisive inutilité.

Un chirurgien de Paris, M. Petibeau, venait d'acquérir une propriété dans le voisinage. Le gentilhomme désœuvré eut occasion de le voir et de lui confier son ardent désir de se créer par le travail une honorable indépendance. Cette détermination était d'autant plus urgente que, par suite d'une manœuvre frauduleuse, la fortune de sa mère se trouvait tout à coup considérablement amoindrie.

M. Petibeau était chirurgien en chef de l'hôpital des enfants de la rue de Sèvres. Il offrit à M. du Trochet le logement inoccupé dont il disposait dans l'établissement.

M. du Trochet accepta cette généreuse proposition et, au mois de novembre 1802, à l'âge de vingt-cinq ans, il commença courageusement ses études médicales, sous les auspices d'une précieuse amitié, à laquelle son cœur reconnaissant resta toujours tendrement fidèle.

Dix-huit mois après il concourait pour l'internat. L'un des vainqueurs dans ce tournoi d'émulation entre les jeunes hommes les plus distingués de l'École, il fut admis officiellement dans ce même hôpital des enfants, où la sollicitude paternelle de M. Petibeau l'avait déjà officieusement introduit et où il resta jusqu'à la fin de ses études.

En février 1806, il commença à subir ses examens pour le doctorat, et le 26 juillet de la même année, il soutint sa thèse inaugurale intitulée : *Essai sur une nouvelle théorie de la voix.*

Cet opuscule remarquable, qu'il compléta quatre ans plus tard par la publication d'une nouvelle théorie de l'harmonie, ne renferme sans doute pas une solution complète du difficile problème de la formation de la voix humaine, mais il reste dans la science comme une ingénieuse tentative qui met sur le chemin de cette solution. M. du Trochet y explique comment le larynx, cet instrument vibrant, peut, par l'action combinée des muscles qui mettent ses cartilages en jeu, augmenter ou restreindre son ampleur et son élasticité, de manière à produire, avec des dimensions et des moyens bornés, le plus grand nombre de tons possibles.

M. du Trochet, voulant tirer parti de sa profession, sollicita un emploi dans la médecine militaire. Le 8 juin 1808, il fut nommé médecin ordinaire des armées, aux appointements de 3000 francs, et partit de Paris, en cette qualité, pour la guerre d'Espagne.

Arrivé à Bayonne, il trouva le 2e régiment d'infanterie légère qui se rendait à Madrid à la suite du roi Joseph, appelé au trône d'Espagne par l'empereur, son frère. Il suivit à cheval cette escorte, afin de ne point s'aventurer seul à travers un pays où était organisée une guerre meurtrière de partisans contre les Français. On voyageait la nuit, pour éviter l'accablante chaleur des journées de juillet.

Dans une de ces nuits de marche, on fit une halte en un champ couvert de gerbes de blé. Les soldats s'étendirent sur la paille. M. du Trochet s'endormit profondément, ayant son cheval attaché près de lui, une valise bien garnie, mille francs dans sa bourse et une belle montre d'or.

Au bout d'un certain temps, il se sent réveillé brusquement par la main d'un paysan qui le secoue. Il se lève en sursaut, s'aperçoit que le régiment n'est plus là, s'élance sur son cheval, part au galop, se promettant bien de ne plus dormir sans sa royale escorte.

Nous le retrouvons bientôt à Burgos, où l'Empereur le laisse médecin en chef d'un hôpital militaire établi dans un couvent de dominicains. Dans ce véritable sépulcre où le typhus entassait les mourants avec les morts, M. du Trochet, victime d'un devoir noblement accompli, ne tarda pas à être atteint par le fléau. Après vingt jours de délire, il ne dut sa guérison qu'aux soins dévoués de son collègue M. Mangon, pour lequel il conserva jusqu'à la mort la plus reconnaissante amitié.

Sa santé profondément altérée ne lui permettant plus de continuer le service, il partit de Burgos pour rentrer en France, le 9 mai 1809, avec un congé de convalescence, à l'expiration duquel il donna sa démission.

C'est encore vers la Touraine que M. du Trochet dirigea ses pas; mais cette fois pour se fixer au manoir de Chareau, et pour y fonder un laboratoire où il pût enfin se livrer à des études sur la nature vivante, auxquelles sa forte éducation médicale l'avait admirablement préparé.

Ce fut donc la médecine qui l'introduisit dans l'histoire naturelle. Elle en est, en effet, la voie la plus large et la plus haute; car c'est par comparaison avec l'organisme humain que la science mesure la signification relative des êtres dans le plan général de la création, et qu'elle soumet de plus en plus ces êtres à son empire, à mesure qu'elle découvre les lois de leur génération et de leur développement.

M. du Trochet avait alors près de trente-quatre ans. Il venait de lire les écrits de Spallanzani. Son ardente imagination s'était enflammée au récit de ces merveilleuses entreprises dans lesquelles l'observateur, prenant la fécondation artificielle comme un instrument nouveau d'investigation, montre et mesure dans les récipients de son laboratoire, par les plus délicates et les plus précises analyses, la part de chacun des parents dans leur mystérieuse alliance; donne la preuve directe de la possibilité de faire des applications de cette découverte, aussi bien chez les espèces où le phénomène se passe dans les obscurités du sein maternel, que chez celles où il s'accomplit au dehors; fait apparaître, sous le foyer du microscope, ces poussières organiques qui révèlent, au sein du monde visible, tout un monde invisible dont les germes remplissent l'univers, et qui promettent au naturaliste les plus attachantes révélations.

Digitized by Google

Devant le tableau de ces découvertes, les plus étonnantes peut-être depuis que l'homme se livre à la contemplation de la nature, M. du Trochet jeta aux flammes tous les ouvrages théoriques qu'il avait composés depuis son doctorat. La puissance de la méthode expérimentale lui était apparue dans toutes les splendeurs de son action souveraine. Il se livra à son culte avec une ardeur et une persévérance que jamais ne découragea l'extrême susceptibilité cérébrale, dernier reste d'une méningite contractée au service de la science, qui menaçait d'un terrible retour sa nature frêle et nerveuse.

En entrant dans cette voie féconde, M. du Trochet voulut y célébrer son noviciat par un tribut de reconnaissance au grand expérimentateur dont les œuvres avaient éveillé sa foi, et à côté duquel il rêvait une place dans le souvenir des hommes. Il fit donc choix, pour sa première étude, d'un sujet que Spallanzani lui-même avait déjà traité dans ses recherches sur les animaux qu'on peut *tuer et ressusciter à son gré*, et donna à l'une des plus singulières découvertes de son maître, celle de la réviviscence, un nouveau lustre par une nouvelle confirmation.

Cette étude commémorative sur les rotifères ne fut, pour le nouvel adepte, qu'un exercice préliminaire à de plus profonds travaux. Immédiatement après il entreprenait ses belles recherches sur le développement des membranes du fœtus.

Il établit, à l'exemple de Pander et de Tredern, que, chez les oiseaux, l'embryon exerce d'abord son action respiratoire à travers la coquille poreuse de l'œuf, par l'entremise de deux poches membraneuses émergeant de l'abdomen, dont l'une, la vésicule ombilicale, arrosée par les ramifications des vaisseaux sanguins du mésentère, est un appendice de l'intestin grêle; dont l'autre, l'allantoïde, arrosée par les branches des vaisseaux sanguins de la vessie transitoire, est un appendice de cette dernière.

De ces deux poches vasculaires, la vésicule ombilicale apparaît la première, car c'est de sa propre substance que l'embryon se forme. Elle étale et multiplie à la surface du jaune de l'œuf son riche réseau sanguin, et devient à la fois, pour le fœtus, un appareil de respiration par celle de ses faces qui touche la coque, et un appareil d'absorption par celle qui embrasse le jaune.

Bientôt le second appendice de l'embryon, l'allantoïde, surgit à son tour, se déploie en grandissant autour de la vésicule ombilicale qu'elle enveloppe peu à peu et, en s'interposant entre elle et la coque, la destitue à son profit de la fonction respiratoire pour ne lui laisser que le rôle d'appareil absorbant de la matière jaune.

C'est désormais à l'aide de ces instruments d'action, dont l'un puise au dedans, que s'achèvera, dans le récipient préorganisé qu'on appelle l'œuf, le travail de formation du nouvel organisme, jusqu'à l'heure où le poumon, substituant sa fonction à celle de l'allantoïde, provoquera l'atrophie de cette dernière, permettra au jeune animal de se dégager de ses premiers liens et de faire acte de libre individualité en sortant de sa prison.

La genèse des corps vivants n'est, en effet, qu'une série de substitutions dans laquelle des organes temporaires ou caducs servent à la formation des organes permanents.

Les choses se passent-elles chez les reptiles et chez les mammifères comme chez les oiseaux? tel est le problème que M. du Trochet aborda il y a aujourd'hui près d'un demi-siècle, et dont il donna alors une complète solution. Il démontra, par un ensemble de fines et décisives recherches, que, dans les trois classes, la vésicule ombilicale et l'allantoïde ont les mêmes connexions, sont arrosées par les mêmes appareils vasculaires, et que, chez les mammifères, l'allantoïde se transforme en placenta pour exercer sur la muqueuse utérine, à défaut de la vésicule ombilicale résorbée de bonne heure, la double fonction d'appareil respiratoire et d'appareil absorbant.

Les vertébrés supérieurs se trouvèrent ainsi, en ce qui concerne l'une des conditions principales de leur développement, rattachés à une loi commune.

Ces curieuses découvertes, réunies à celles qu'il fit de 1815 à 1818 sur la métamorphose du têtard de la grenouille, sur le développement du canal alimentaire des insectes, sur l'anatomie des organes reproducteurs du puceron, sur la formation de la membrane chalizifère de l'œuf de l'oiseau, sur la régénération des plumes, placèrent à juste titre M. du Trochet au premier rang parmi les physiologistes de son temps. Aussi l'Académie des sciences l'admit-elle au nombre de ses correspondants, dans sa séance du 1er mars 1820.

L'événement qui prépara sa nomination a exercé une trop grande influence sur le reste de sa vie pour que je n'en rappelle pas ici le souvenir. M. du Trochet avait attaqué en pleine Académie une opinion émise par l'un des membres les plus illustres de cette compagnie. Celui-ci, l'abordant après la séance, l'invita à venir le voir pour s'en expliquer avec lui. M. du Trochet se rendit à cet appel; mais, au lieu d'un maître irrité, ce fut un protecteur qu'il rencontra. Une place de correspondant était vacante dans la section d'anatomie et de zoologie; M. Geoffroy-Saint-Hilaire proposa lui-même son indépendant contradicteur au choix de ses confrères, et s'attacha désormais à lui comme le plus affectueu des amis.

M. du Trochet ne sépara jamais, ni dans son esprit ni dans ses études, la physiologie animale de la physiologie végétale. Il pensa toujours, et c'est l'un de ses éminents mérites, que de l'alliance de ces deux physiologies naîtrait une physiologie plus vaste, embrassant la nature vivante tout entière; la physiologie générale enfin, à l'avénement de laquelle ses travaux ont si puisamment concouru. La vie est une : quiconque la divise n'en comprendra jamais les harmonies et les lois.

Dans cet ordre d'idées comparatives, et pour faire un pas de plus vers cette génération dont il se constitua le hardi promoteur, il composa deux mémoires qui furent couronnés; l'un, en 1820, sur l'accroissement et la reproduction des végétaux, pour le concours de physiologie expérimentale; l'autre, en 1821, sur l'ostéogénie, pour le concours au prix d'Alhumbert : mémoires où, par un rapprochement un peu forcé, mais toujours ingénieux, il signale, en courant à travers un ensemble de faits d'une grande importance, une certaine analogie entre la structure ligneuse des arbres et la charpente osseuse des animaux.

Le premier de ces mémoires est surtout concracré à l'exposition d'une nouvelle théorie de l'accroissement en diamètre des végétaux dicotylédonés. M. du Trochet y considère l'arbre comme un composé de deux systèmes emboîtés, analogues en leur structure, mais disposés en sens inverse; l'un, central, représenté par la tige ou le bois; l'autre, périphérique, représenté par l'enveloppe corticale. Entre ces deux systèmes, l'un enveloppé, l'autre enveloppant, chaque année s'organi-

Digitized by Google

sent, l'aubier autour du bois, le liber à la face interne de l'écorce, en deux stratifications ligneuses formant, sous la vieille écorce qui s'élargit pour lui faire place, un nouveau végétal semblable au précédent, ayant comme lui, et dans le même ordre, sa moelle, son aubier, son liber, son parenchyme cortical. Un arbre s'accroît donc en diamètre par l'interposition annuelle, entre l'écorce et le bois, d'un arbre identique avec celui auquel il s'ajoute. Telle fut l'ingénieuse conception que M. du Trochet substitua aux idées vagues ou contradictoires émises de son temps sur cette question. C'est la vive et pittoresque image d'un phénomène complexe simplement expliqué.

Aubert du Petit-Thouars, cet esprit d'une si remarquable originalité, admettait, pour expliquer l'accroissement des arbres en diamètre, que chaque bourgeon émettait des racines, et que ces racines, en descendant dans le bois et l'écorce, y formaient de nouvelles couches ligneuses : séduisante hypothèse, autrefois soutenue par La Hire et qui rencontra d'éminents partisans.

M. du Trochet la renversa, au profit de sa propre doctrine, par un argument nouveau, emprunté à l'histoire naturelle du sapin de Normandie (*Pinus picea*), dont la souche décapitée conserve, pendant plus d'un siècle, en l'absence de tout système foliacé, le privilége de produire, sous son écorce, autour du vieux bois tombant en poussière, de nouvelles couches ligneuses. Ces couches ne sont donc pas le résultat de l'interposition des prétendus appendices radiculaires des bourgeons, puisque ces bourgeons ont été enlevés avec le tronc de l'arbre.

Dans le second mémoire couronné, on voit, avec une curieuse surprise, comment, d'une simple étude sur le développement de la colonne vertébrale du têtard de la salamandre et de la grenouille, M. du Trochet fait sortir la découverte de forme primaire génératrice, d'où dérivent toutes les pièces osseuses des animaux, quelle que soit la diversité de configuration qu'elles subissent pour s'approprier à leur fonction chez l'adulte.

Avant de se constituer à l'état solide par l'addition du phosphate calcaire, le squelette existe à l'état cartilagineux. C'est dans cette gangue préexistante que M. du Trochet aperçoit d'abord les corps des vertèbres, disposés en chapelet et formés chacun de deux cônes tronqués opposés par leur sommet. La forme primitive du corps de la vertèbre est donc *dicône*.

Puis, dans le milieu de ce dicône, il voit naître deux bourgeons latéraux, rudiments osseux qui se portent en arrière pour former, en se soudant, une enceinte solide à la moelle épinière; puis enfin, en avant, deux autres bourgeons analogues qui vont entourer l'aorte. Or, toutes ces pièces sont d'abord dicônes : donc le dicône est la forme primaire, génératrice, le prototype de tous les os de l'organisme. L'expérience n'a rien retranché à cette conclusion.

C'est de ce fait fondamental, dont M. du Trochet avait habilement déduit toutes les conséquences, que Carus, le célèbre anatomiste de Dresde, est parti pour instituer sa théorie abstraite de la formation de la charpente osseuse dans toute la série, par la vertèbre répétée.

En même temps que M. du Trochet adressait au concours pour le prix d'Alhumbert ses recherches sur l'*Ostéogénie*, il présentait un autre mémoire au concours de physiologie expérimentale sur *les directions spéciales qu'affectent certains végétaux*. Ce mémoire, ainsi que le rappelle G. Cuvier, dans son analyse des travaux de l'Académie pendant l'année 1821, ne fut point admis parce qu'on voulait cette fois réserver la récompense à la physiologie animale, et peut-être aussi pour ne point décourager les concurrents devant ce jouteur toujours présent et toujours vainqueur. M. du Trochet a consigné dans ce travail les détails d'une expérience devenue célèbre à cause de son élégante simplicité.

On sait que, dans quelque position qu'on place une graine de gui sur un arbre, la radicule se recourbe toujours de manière à gagner une des anfractuosités de l'écorce et à s'y insinuer. Quelle est la cause de ce phénomène? Pour la découvrir, M. du Trochet fixa des graines de cette plante à la vitre d'une fenêtre, les unes en dehors, les autres en dedans. Celles du dehors dirigèrent leurs radicules vers le carreau et les y appliquèrent; celles du dedans les dirigèrent vers l'intérieur de l'appartement, fuyant toutes la lumière. Il en conclut qu'en l'état de nature les racines du gui pénètrent dans l'écorce des arbres pour y trouver l'obscurité.

De 1822 à 1823, M. du Trochet fit de nombreuses recherches sur divers points de physiologie animale et de physiologie végétale, qu'il présenta à l'Académie sous forme de mémoires séparés, et qu'il réunit, en 1824, pour les publier sous ce titre : *Recherches anatomiques et physiologiques sur la structure intime des animaux et des végétaux et sur leur motilité.*

Parmi les expériences dont cet ouvrage contient la relation, j'en distingue deux d'une importance bien inégale. Dans l'une, M. du Trochet attache, comme Knight l'avait fait avant lui, des graines en germination à la circonférence d'une roue mise en mouvement par un mécanisme d'horlogerie, et constate qu'on peut, à l'aide de cet artifice, contraindre les radicules à se diriger vers la circonférence et les plumules vers le centre; empêchant ainsi, tant que dure l'épreuve, les premières d'obéir à la loi naturelle qui les entraîne vers la terre; les autres, à celle qui les porte vers le ciel. Mais il n'y a dans cette ingénieuse expérience rien qui nous rapproche de l'explication des secrètes fonctions de l'organisme, tandis que l'autre va nous révéler la structure intime du laboratoire vivant où ces fonctions s'accomplissent.

L'un des maîtres les plus autorisés, M. de Mirbel, professait que les végétaux étaient formés d'une substance continue dans toutes ses parties; matière homogène, d'une seule pièce, au sein de laquelle de simples lacunes, tubuleuses ou cellulaires, séparées par des cloisons perforées pour le passage de la séve, constitueraient un appareil circulatoire.

Cette doctrine, défendue avec un rare talent, fut renversée tout à coup par une expérience dans laquelle M. du Trochet, prenant un à un tous les organes des plantes, les soumit à l'ébullition dans l'acide nitrique, désagrégea leurs éléments constitutifs, et montra que chaque grain de cette poussière végétale était une vésicule, un utricule ou une cellule : petits organes creux dont la paroi, contrairement à la théorie de M. de Mirbel, ne présente aucune ouverture ni pour l'entrée, ni pour la sortie des liquides.

Tout végétal est donc formé par un assemblage de ces vésicules ou utricules juxtaposés, agglutinés plus ou moins fortement les uns aux autres, se déprimant mutuellement en grandissant dans les espaces qu'ils occupent, et y prenant, par suite de cette pression réciproque, la forme polyédrique qui leur a fait donner le nom de cellules. Chaque cellule a, par conséquent, au sein de la communauté, sa vie propre

Digitized by Google

comme organe spécial clos, et sa vie de relation comme partie intégrante de l'organisme général à la fonction duquel son incorporation l'enchaîne. Cette solidarité, cependant, n'éteint pas des aptitudes latentes toujours prêtes à se manifester quand des circonstances favorables en fournissent l'occasion et les moyens. Les observations de M. Turpin ont démontré, en effet, que, sous l'empire de certaines conditions naturelles ou artificielles, ces vésicules, ces utricules ou ces cellules, peuvent devenir les germes reproducteurs du végétal lui-même et, suivant les circonstances, se transformer en un *quelconque de ses organes*. Ce qui a permis d'expliquer pourquoi, dans la célèbre expérience de Duhamel sur le retournement des arbres, les racines, devenues aériennes, donnent des branches, tandis que les branches devenues terrestres donnent des racines.

M. du Trochet n'est certainement pas le premier qui ait annoncé cette vérité fondamentale : Rudolphi, Link, Treviranus d'abord, Keiser ensuite, avaient essayé de la faire prévaloir en l'appuyant sur des observations spéciales. Mais il est sans contredit celui qui a le plus contribué à l'établir sur des bases solides. M. de Mirbel lui-même, cédant à l'entraînement de la démonstration, donna à la nouvelle doctrine une éclatante adhésion dans ses belles recherches sur l'anatomie du *Marchantia polymorpha*.

A peine M. du Trochet avait-il obtenu la preuve que la trame de tout végétal était un assemblage de cellules juxtaposées, adhérentes les unes aux autres, mais distinctes, que, conduit par l'idée d'une analogie nécessaire, il soumit à l'analyse microscopique le tissu des animaux. Les organes sécréteurs des Mollusques gastéropodes lui ayant montré les mêmes vésicules agglomérées qu'il avait rencontrées chez les plantes, il en conclut que, dans les deux règnes, la trame était la même ; c'est-à-dire un composé de cellules adossées, sans communications entre elles et à cavités séparées par la double cloison qui résulte de leur adossement.

Combien cette conclusion lui aurait paru encore plus conforme à la véritable nature des choses, s'il lui eût été donné alors de voir la matière granuleuse, destinée à la formation d'un nouvel être, se séparer dans l'œuf en segments sphéroïdaux sans structure apparente ; puis chacun de ces segments homogènes, simple résultat d'une coalescence de granules autour d'un centre, se convertir en vésicule par coagulation de sa couche superficielle ; puis toutes ces vésicules naissantes, d'abord indépendantes les unes des autres, quoique créées toutes sous l'empire d'une même force coordinatrice, se ranger par ordre comme les pierres d'un édifice, se nourrir par l'assimilation de leur contenu, se multiplier par scission à la manière des organismes inférieurs, et constituer, sous l'œil de l'observateur, par leur assemblage et leur union, la toile cellulaire qui va se transfigurer en embryon !

Cette toile celluleuse, en effet, première œuvre de la vie qui a pris possession de la matière pour l'entraîner à la création d'un être nouveau, va bientôt, par un simple dédoublement de sa paroi, donner naissance aux organes les plus complexes. Elle n'a dès le principe, et même pendant un temps assez long, ni appareil circulatoire, ni système nerveux, et pourtant elle introduit dans ses cellules closes ses matériaux de nutrition. Elle les dérive même, à travers ses cloisons imperforées, vers les points où le travail de développement se concentre et où elle se transforme, ici en surface absorbante du chyle, là en appareils sécréteurs des sucs destinés à séparer ce chyle du bol alimentaire ; ailleurs, en instruments de dépuration ou d'excrétion ; sur d'autres points, en chambres pneumatiques pour la digestion de l'air et l'élimination des gaz nuisibles.

Mais quelle est, au sein de cette trame cellulaire si diversement modifiée, la cause mystérieuse et permanente de la transmission des liquides, des gaz, des matières solides dissoutes, à travers les cloisons membraneuses? Quelle est la cause qui donne à chacun des appareils dont cette trame cellulaire se compose la faculté d'extraire et de retenir l'élément afférent à sa fonction spéciale, comme en une fabrique où la division du travail a été calculée pour la plus savante de toutes les industries? Quel est, en un mot, le secret des principales fonctions de la vie végétative, c'est-à-dire de l'absorption, de la nutrition, de l'exhalation?

A toutes ces questions, jusque-là inaccessibles, M. du Trochet va répondre par sa double et mémorable découverte de l'endosmose et de l'exosmose : c'est-à-dire par la démonstration de l'existence de deux courants parallèles et en sens inverse qui s'établissent entre des substances de nature et de densité différentes, lorsqu'on les met en présence à travers une cloison membraneuse.

Pour comprendre toute la portée de cette découverte, il suffit de jeter un regard sur l'état de nos connaissances au moment où elle a été faite.

Le plus grand physiologiste des temps modernes, Bichat, ne pouvant surprendre le mécanisme des transmissions moléculaires à travers les membranes, imagina, pour expliquer ce phénomène, sa célèbre hypothèse des vaisseaux exhalants et des vaisseaux absorbants. Il supposa que les extrémités capillaires de ces deux ordres de conduits antagonistes s'ouvraient à toutes les surfaces, aussi bien à l'extérieur qu'à l'intérieur du corps, par des bouches invisibles, chargées les unes d'introduire les substances ou les sucs nourriciers, les autres d'éliminer ce qui doit être versé au dehors. Mais comme ces racines béantes auraient pu tout admettre et troubler à chaque instant le jeu régulier des fonctions, il leur attribua une sensibilité, une faculté contractile qui, selon les besoins, leur permettrait de tenir leur entrée ouverte ou fermée.

Telle est, en peu de mots, la séduisante doctrine que l'auteur des *Recherches sur la vie et sur la mort* fit prévaloir dans les écoles. Elle y règne encore, sinon dans le fond, au moins dans la langue qu'on y parle, tant a été profonde la trace qu'elle y a laissée. Ne pouvant délier le nœud gordien, Bichat l'avait tranché, afin de ne point arrêter la marche de la révolution qu'il voulait accomplir en anatomie générale, en physiologie, en pathologie.

La question restait donc entière quand, après la mort de Bichat, M. du Trochet exécuta la longue série d'ingénieuses expériences qui lui lui ont permis de la résoudre.

Pendant qu'il était occupé à observer au microscope, dans un cristal de montre rempli d'eau, quelques fragments d'une moisissure aquatique détachés d'une plaie faite à un poisson vivant, un phénomène étrange, qui lui sembla n'avoir aucun rapport avec les faits connus, s'offrit à sa vue. Il vit les capsules oblongues dont les filaments de cette plante parasite sont composés, expulser avec violence, par un petit goulot situé à leur pointe, les nombreux globules qui remplissaient leur cavité; tandis que l'eau du récipient, activement introduite à l'autre bout, en chassait *à tergo* le contenu, comme le piston chasse le liquide d'une pompe. Le courant d'eau établi

Digitized by Google

à travers les membranes contenantes était évidemment ici l'instrument mécanique de cette force de projection.

Quelle pouvait être la cause qui mettait ces courants en jeu, réglait leur intensité, limitait leur durée?

Une étude plus approfondie du même phénomène, faite sur des capsules animales, pondues par les mollusques gastéropodes aux époques de la reproduction, livra à M. du Trochet le secret de ce mécanisme et, avec ce secret, celui des transmissions moléculaires à travers les membranes des corps vivants.

Plongés dans l'eau, ces petits sacs de matière pâteuse se vidèrent sous ses yeux, par leur étroit goulot, comme l'avaient fait les capsules de la moisissure aquatique; mais, ici, une particularité caractéristique le frappa : c'est que les courants établis de l'extérieur à l'intérieur ne commencèrent à s'apaiser qu'à partir du moment où le liquide moins dense, substitué à la matière pâteuse, eut vivement éliminé, du sein des capsules distendues, jusqu'aux dernières molécules de cette matière.

La présence d'une substance plus dense que l'eau dans les cellules organiques est donc la condition nécessaire de leur active perméabilité, de leur implétion, de leur distension, puisque cette perméabilité persiste tant qu'il y a trace de cette substance, et qu'elle cesse immédiatement après complète élimination.

Une fois le principe connu, M. du Trochet va pouvoir imiter l'artifice de la nature et reproduire dans des appareils de physique ce qui, jusque-là, avait été considéré comme un attribut de la vie. Admirable et irrésistible puissance de la méthode expérimentale!

Pour imiter en grand les capsules ou les vésicules microscopiques dont il avait surpris la fonction, il forma, avec des cæcums et des intestins de jeunes poulets, des poches membraneuses ou des sachets fermés par des ligatures, et les plongea dans l'eau après les avoir à moitié remplis d'une solution gommeuse, mucilagineuse, albumineuse, c'est-à-dire d'une matière plus dense que le liquide ambiant.

Le résultat répondit à toutes les prévisions de sa pressante curiosité. En peu de temps, l'eau extérieure passa à travers les parois de ces poches devenues activement perméables. Il venait donc de créer des organes artificiels d'absorption, image fidèle de la nature vivante.

A peine ces appareils absorbants furent-ils devenus turgides que, retournant l'expérience, M. du Trochet les transporta dans un bain formé par une solution de gomme arabique, afin de s'assurer si la matière plus dense, placée à dessein au dehors, ne déterminerait pas l'eau en excès à sortir à travers les parois des cavités où il supposait qu'une sollicitation analogue l'avait introduite. L'eau obéit à cet appel dans une direction contraire. Le doute n'était donc plus permis : la direction des courants moléculaires à travers les membranes *séparatives* était réellement déterminée par la présence et l'action du liquide dont la densité est la plus grande.

M. du Trochet donna à ce phénomène le nom d'*endosmose*, voulant caractériser ainsi un acte d'intussusception.

Il crut d'abord que ce courant était unique. Mais, un jour, ayant mis dans une des poches absorbantes une solution de gomme arabique teinte par de l'indigo, il vit l'eau du bain où il l'avait plongée se colorer en bleu, à mesure que cette poche devenait turgide. La membrane *séparative* livrait donc passage à deux courants parallèles et en sens inverse, qui en traversaient simultanément la paroi; l'un, plus fort, du dehors au dedans, c'est-à-dire du liquide moins dense au liquide plus dense; l'autre, plus faible, du dedans au dehors, c'est-à-dire du liquide plus dense au liquide moins dense.

Il désigna ce dernier courant sous le nom d'*exosmose*, voulant caractériser ainsi un acte d'exhalation ou d'élimination, antagoniste du phénomène d'absorption ou d'endosmose.

M. du Trochet était donc parvenu à reproduire les deux actes fondamentaux de la vie végétative. Il avait montré, par le jeu de ses appareils d'endo-exosmose, comment se font les transmissions moléculaires à travers les cloisons imperforées des cellules dont le tissu des organismes se compose; comment s'y opèrent l'appel et l'élection des diverses substances pour les diverses fonctions, suivant la loi purement physique de la double perméabilité, qui règle les échanges entre les fluides miscibles hétérogènes ou de densité différente, renfermés dans des cavités closes et contiguës. Il venait, en un mot, de délier le nœud que Bichat avait été obligé de trancher.

Mais ces poches membraneuses absorbantes et exhalantes, quand elles renferment des solutions plus denses que les liquides ambiants, attirent dans leur cavité, par endosmose, une plus grande quantité de matière qu'elles n'en éliminent par exosmose : elles ont donc la faculté d'emmagasiner, et, sous ce rapport, elles reproduisent ce qui se passe dans les cellules embryonnaires, au temps où ces cellules empruntent au dehors les éléments nécessaires à leur propre nutrition et à celle de l'organisme nouveau qu'elles édifient. En révélant ce fait, M. du Trochet mettait encore la physiologie en présence des conditions préparatoires de la plus obscure de toutes les fonctions, celle de l'assimilation.

Là ne s'arrêta pas le cours de ses victorieuses analyses. En voyant les poches absorbantes se remplir d'eau avec excès, et devenir turgides comme des kystes hydropiques, il soupçonna que leur faculté d'intussusception, loin d'être épuisée, se trouvait simplement empêchée par la résistance des parois distendues outre mesure.

Ce soupçon lui inspira l'idée que ce liquide serait déterminé à monter dans un tube de verre vertical qui communiquerait avec l'intérieur de ces poches. L'eau s'éleva, en effet, jusqu'à l'ouverture supérieure du tube et se déversa pendant plusieurs jours, mise en circulation par une force nouvelle dont les applications à la physiologie se présentaient en foule à son esprit.

Il mesura la vitesse et l'intensité de cette force nouvelle avec un endosmomètre composé d'une cloche en verre, à l'ouverture inférieure de laquelle il tendit une membrane organique obturatrice comme la peau d'un tambour, tandis qu'au sommet perforé de l'appareil il implantait, au moyen d'un bouchon de liége, un tube vertical gradué, ouvert aux deux bouts et communiquant à l'intérieur. Puis il introduisit, dans la chambre de ce tambour, des substances miscibles d'une densité plus grande que celle de l'eau où il immergea la base de l'instrument.

A peine la membrane obturatrice fut-elle mouillée que son active aspiration introduisit l'eau dans la chambre de l'appareil en une nappe continue qui fit monter le mélange le long du tube avec une vitesse proportionnelle à la densité de la substance mise à l'épreuve.

Cette vitesse proportionnelle d'ascension une fois constatée, M. du Trochet substitua au tube droit de son appareil un au-

Digitized by Google

tre tube à plusieurs courbures, semblable à celui dont Hales d'abord, MM. Mirbel et Chevreul, ensuite, se sont servis pour déterminer la force ascensionnelle de la séve. Il versa dans ce tube une colonne de mercure. Le flot montant souleva le métal avec une puissance égale au poids de quatre atmosphères et demie.

Le travail d'endosmose ou d'active perméabilité du diaphragme, aspirant l'eau extérieure dans la chambre de l'instrument, lui apparut comme le simulacre exact de la fonction absorbante des membranes séreuses, muqueuses, cutanées, puisant à leur surface le chyle et la lymphe, qu'elles introduisent par un mécanisme identique dans les radicules vasculaires d'un ordre de canaux qui prend naissance dans leur paroi, mais dont la circulation n'est pas sous l'empire des contractions du cœur. La force de propulsion qui, après avoir empli d'eau la chambre de l'appareil, élève ce liquide le long du tube gradué jusqu'au déversoir, lui apprit comment la lymphe, le chyle et la séve, poussés sans cesse *à tergo* par de nouveaux afflux endosmotiques, cheminent dans leurs canaux vecteurs.

Les corps vivants, considérés à ce point de vue, sont donc de véritables endosmomètres.

Quand ces éléments nouveaux, chyle, lymphe, séve, ont été réunis par un premier acte d'endosmose aux fluides nourriciers dont ils font désormais partie, la circulation générale les emporte et les distribue dans tous les points des organismes, afin de présenter partout les matériaux nécessaires à l'exercice de la vie. Mais, si déliées que soient les voies capillaires tracées pour ces irrigations, elles courent partout sans s'ouvrir nulle part. Il faut donc que de ces ruisseaux, d'où rien ne s'épanche, chaque cellule dérive ce qui lui convient par filtration élective. La seule présence d'une matière hétérogène plus dense que le fluide circulant détermine cet acte d'intussusception, comme au sein des cellules embryonnaires, entre lesquelles s'opèrent ensuite les transmissions moléculaires, dont la membrane de l'endosmomètre nous montre la curieuse représentation.

Les cloisons séparatives qui semblent, au premier abord, un obstacle aux libres communications, deviennent donc, au contraire, les instruments d'un actif et réciproque échange. Elles admettent ou elles repoussent, elles empruntent ou elles donnent, suivant des oscillations dont l'endo-exosmose est la loi.

Si ces transmissions et ces échanges s'opèrent au sein du tissu qui forme les digitations ultimes de l'arbre creux que les glandes représentent, ils aboutissent à l'acte de sécrétion par une filtration élective de la paroi des tubes conducteurs, analogue à celle qui fait passer à travers le diaphragme *analyseur* de l'endosmomètre les matières végétales colorantes, solutions salines concentrées sur lesquelles M. du Trochet avait coutume d'expérimenter.

De là la bile, la salive et les divers sucs que les organismes distillent.

L'industrie manufacturière, mettant à profit cette faculté de séparation, d'élimination, de diffusion, a fait de ce diaphragme, par la simple substitution d'une membrane de papier-cellulose gonflé ou du parchemin végétal, une sorte d'organe artificiel de dépuration, à travers lequel des courants en sens inverse d'eau et de mélasse dégagent de cette dernière, par exosmose, les sels qu'elle contient, tandis que le sucre reste et donne ensuite, après concentration, une cristallisation abondante.

Bel exemple des conséquences utiles qui peuvent découler d'une découverte de science pure, et qui prouverait, s'il était besoin de le faire ici, quels services rendent aux nations, même pour leur prospérité matérielle, ceux qui se consacrent à la recherche abstraite de la vérité.

C'est encore à la faveur de la méthode instituée par M. du Trochet que M. Graham, comme l'a dit avec raison M. Payen, effectue l'analyse organique, qu'il désigne sous le nom de *dialyse;* développant ainsi avec éclat l'œuvre de son devancier, sans sortir de la voie qu'il avait tracée.

L'endo-exosmose n'est donc pas seulement l'explication d'un phénomène intime de physiologie, elle a encore cette singulière importance qu'elle met entre les mains du chimiste et du physicien, comme instrument de laboratoire, l'instrument dont la nature se sert pour l'entretien de la vie.

Je ne sais, quant à moi, dans l'histoire entière de la physiologie, qu'un ordre de travaux dont on doive estimer plus haut l'importance : je veux parler de ceux qui nous dévoilent les fonctions des organes de la vie de relation. Mais combien n'a-t-il pas fallu d'éminents collaborateurs pour déterminer la nature de ces fonctions, depuis les expériences dans lesquelles Charles Bell distingue les faisceaux de la moelle épinière et leurs nerfs émergents en cordons sensibles et en cordons moteurs, jusqu'à celles qui ont permis à M. Flourens de montrer la localisation des facultés cérébrales dans le lien de leur solidaire enchaînement !

M. du Trochet a exploré le domaine tout entier de la vie végétative, seul, dans l'isolement absolu de son ermitage de Chareau, et avec les médiocres ressources d'un laboratoire indigents. Ses découvertes, sans rien emprunter aux faits du même ordre, mais jusque-là stériles, signalés par l'abbé Nollet, en 1748, par Sömmerring, en 1812, ont permis de donner de ces faits la véritable explication.

Plus on va au fond de cette sympathique existence, si purement vouée au culte du vrai et à la pratique du bien, plus on admire ce qu'il a fallu de confiante persévérance pour accomplir une pareille œuvre à travers les obstacles des préjugés contemporains. M. du Trochet leur paya largement son tribut.

Il avait eu l'imprudence, en un moment d'enthousiasme, qui s'explique, s'il ne se justifie complétement, par la vive et légitime émotion que dut susciter dans cette âme ardente le soudain éclair de tout un monde ignoré ; il avait eu, dis-je, l'imprudence de publier sa découverte de l'endosmose sous ce titre : l'*Agent immédiat du mouvement vital dévoilé dans sa nature et dans son mode d'action.*

La malveillance et l'envie en prirent prétexte pour décrier, par la puérile critique d'une formule exagérée, l'idée féconde qu'elle mettait en lumière. Les esprits bienveillants eux-mêmes, trop enchaînés, par habitude, au culte d'un présent quelquefois inhospitalier pour les aspirations de l'avenir, lui déclarèrent que l'endo-exosmose n'était qu'une association de phénomènes déjà connus, auxquels il aurait eu le tort de donner un nom particulier. Il avait beau répondre aux uns en déchirant la première page de son livre, et aux autres en les appelant sur le terrain de l'observation, on ne tint aucun compte ni de cet acte de chevaleresque bonne foi, ni de cet appel aux preuve directes, et, sans l'énergique intervention de M. Gay-Lussac, la découverte de l'endo-exosmose n'aurait pas même figuré au concours de physiologie expérimentale,

Digitized by Google

où, grâce à ce puissant patronage, elle obtint une moitié de la récompense.

Les inventeurs sont des voyants. Un secret rayon les conduit là où tout est confusion et ténèbres pour leurs contemporains. Ce qu'ils annoncent, leurs yeux le distinguent, leurs mains le touchent, leur esprit en mesure la lointaine portée ; mais la lumière qui les éclaire ne brille pas encore pour ceux dont il leur faut conquérir l'assentiment. Les vérités nouvelles qu'ils apportent se trouvent donc, en naissant, aux prises avec les idées régnantes qui, avant d'accorder droit de cité, leur demandent de faire leurs preuves.

Il ne faut donc pas qu'ils se découragent devant ces résistances légitimes, comme Charles Bell après sa découverte de la distinction des nerfs en cordons sensibles et en cordons moteurs. La nature même des choses les condamne d'avance à être aussi patients que forts.

M. du Trochet avait la foi qui donne cette force ; mais son extrême susceptibilité cérébrale le vouait à de trop faciles émotions pour lui permettre de soutenir longtemps le poids de cette vie militante. Il rentra donc dans sa solitude de Chareau, d'où on le voyait chaque année apporter un nouveau travail, comme l'ouvrier de l'Évangile qui faisait valoir les talents confiés à son industrieuse activité. Il reprit une à une, en les variant, toutes ses expériences contestées, et entreprit d'autres recherches qui le conduisirent à voir dans l'endosmose et l'exosmose agissant tantôt par implétion turgide des cellules, tantôt par déplétion, la cause déterminante du mouvement des organes des végétaux ; de la direction des tiges vers le ciel ; de celle des racines vers la terre. Cette double faculté d'introduire les liquides en excès et de les soutirer tour à tour, lui parut suffisante pour transformer les tissus anatomiquement prédisposés, à défaut de muscles extenseurs et fléchisseurs, en véritables ressorts d'incurvations, de torsions et de constrictions diverses.

De là, pour lui, l'enroulement spontané des valves du fruit de la balsamine à l'époque de sa maturité ; de là, la contraction spasmodique du fruit du *Momordica elaterium* qui expulse avec violence, par l'ouverture du pédoncule détaché, le liquide et les graines renfermés dans sa cavité centrale ; de là, l'irritabilité de la sensitive et celle du sainfoin oscillant ; de là, l'épanouissement et l'occlusion alternatifs, dans le sommeil et le réveil des plantes ; de là, enfin, les forces organiques qui font monter les tiges et qui font descendre les racines. Ingénieuses conceptions, dont quelques-unes peuvent paraître encore hasardées, mais qui reposent toutes sur des expériences d'une grande finesse, d'un profond intérêt et qui ouvrent encore à l'avenir des horizons nouveaux.

Après de si éminents travaux accomplis avec un noble désintéressement, M. du Trochet pouvait espérer une récompense exceptionnelle. M. Geoffroy Saint-Hilaire fut le chaleureux interprète des sentiments de l'Académie lorsqu'il lui écrivit en juin 1831 : « Les événements se pressent et nous » touchons au moment de vous faire entrer dans un corps où, » sans votre *alibi*, vous seriez déjà, mais où vos talents vous » appellent si nécessairement que la forme fléchira cette fois » devant l'utitité raisonnable. Un agriculteur, M. Yvart, vient » de mourir. Je ne fais pas de doute que vous ne réussissiez » cette fois. »

Les règlements fléchirent en effet : M. du Trochet fut élu membre titulaire le 26 septembre suivant, dans la section d'économie rurale, sans condition de résidence.

Cette récompense ne fit qu'accroître son ardeur pour le travail ; mais elle ne le rendit pas assez riche pour lui donner à Paris une existence conforme à ses habitudes et digne de son rang. Il fut donc obligé de rentrer encore à Chareau, après son élection, afin d'y continuer à mettre à profit les ressources de son modeste laboratoire.

Le 30 juin 1832, M. du Trochet communiqua à l'Académie le résultat de ses recherches sur la cause des mouvements alternatifs d'ascension et de descente que subissent dans l'eau les innombrables animalcules microscopiques dont les infusions sont peuplées. En observant cette poussière vivante, accumulée à la surface du liquide en une couche pseudo-membraneuse, que les partisans des générations spontanées ont désignée, depuis, sous le nom de *stroma*, il vit des nuées d'animalcules tomber au fond du récipient comme une vapeur, et remonter ensuite vers la source commune, d'où se dégageaient d'autres courants destinés, à leur tour, à parcourir la même route. Il présuma qu'au contact de l'air ces infusoires acquéraient, par suite de l'absorption de l'oxygène, une pesanteur spécifique plus grande que celle de l'eau, ce qui devait déterminer leur chute ; et qu'au fond du vase ils devenaient plus légers par suite de la combustion du gaz, ce qui devait déterminer leur ascension. Il le prouva en démontrant que les courants descendants cessaient dès qu'on mettait le récipient dans un air privé d'oxygène.

M. du Trochet ne se souvenait de sa profession médicale que quand il s'agissait des pauvres ou d'une calamité publique. Son dévouement et son abnégation ne s'arrêtaient pas à la limite de ses devoirs : il les éleva toujours à la hauteur du sacrifice. Aussi le vit-on, lors de la première invasion du choléra, accourir spontanément de sa retraite vers la ville voisine, dès qu'il eut appris que des trois médecins occupés à donner leurs soins aux malades, il n'en restait plus qu'un seul debout.

Le 20 mars 1833, sa mère mourut à l'âge de soixante dix-neuf ans. En sortant de la vie, elle voulu donner à ce fils, dont la sollicitude éclairée avait adouci les maux de sa longue vieillesse, tous ce que la loi lui permettrait de distraire de sa succession. C'était plus que l'opulence pour M. du Trochet, c'était la possibilité d'habiter Paris, et de se mêler de plus près au mouvement intellectuel de son temps, dans le commerce fortifiant de ses confrères. Un sentiment plus élevé prévalut dans son cœur. Il partagea son héritage entre ses six frères et sœurs, ne leur demandant, en retour, que de lui conserver, au foyer de la famille, la place que la mort de leur mère venait de laisser vide.

Une heureuse et riche alliance, préparée par la paternelle amitié de M. Geoffroy Saint-Hilaire, lui donna, quelques mois plus tard, une compagne dont la vive et originale distinction savait le distraire de ses travaux, sans jamais l'en détourner, et dont les sentiments dévoués écartaient de son chemin tout ce qui aurait pu lui faire obstacle, sans éveiller la susceptibilité de sa nature délicate et fière. Elle fit de son hôtel de la rue de Braque un centre de réunions à la fois élégantes et sérieuses, où M. du Trochet prenait plaisir à produire les jeunes expérimentateurs, dont il ne se lassait pas d'encourager les travaux. Je suis de ceux qui lui en conservent un souvenir reconnaissant.

Peu de temps avant son mariage, M. du Trochet fut nommé

Digitized by Google

membre de la Légion d'honneur. Il reçut directement les insignes de l'ordre des mains du grand historien-ministre dont l'esprit libéral a, pour la dignité intellectuelle et morale des générations qui s'avancent, placé le premier échelon de l'instruction publique à la porte des chaumières. Cette marque de deférence le toucha comme un hommage rendu à la noblesse du travail. Il l'inscrivit au nombre des particularités dont il souhaitait qu'il fût fait mention dans l'histoire de sa vie.

De nombreuses recherches, sur les sujets les plus divers, occupèrent encore l'infatigable observateur. Tantôt il démontre que les cavités pneumatiques et les canaux aérifères des plantes sont des organes respiratoires analogues aux trachées des insectes; tantôt il détermine la loi des variations accidentelles de la distribution des feuilles sur les tiges; tantôt il établit que les champignons ne sont que les fruits aériens de byssus souvent souterrains; que les moisissures existent à l'état de filaments à l'intérieur du corps avant de se faire jour à leur surface.

En soumettant tour à tour la tige tubuleuse des Charas à l'influence de la chaleur, à celle du froid, à l'action de l'eau non aérée, ou tenant en solution une faible dose d'un sel neutre d'opium, il fait voir qu'il se manifeste dans la fonction circulatoire de la plante des alternatives d'engourdissement et de réaction analogues aux phénomènes d'innervation que souvent les animaux présentent quand on les place dans les mêmes conditions.

A l'aide des aiguilles thermo-électriques, implantées dans les tissus vivants des végétaux et des animaux à sang-froid, il essaye de percevoir et de mesurer la faible élévation de température suscitée par les fonctions de nutrition et de respiration, mettant ainsi à profit, pour écarter les causes d'erreur, la méthode d'expérimentation instituée par M. Becquerel.

Ayant disposée en ligne, devant le spectre solaire, une série de graines nouvellement germées, soutenues à la surface de l'eau au moyen d'une mince lame de liége percée de trous pour le passage des racines, il analyse, de concert avec M. Pouillet, par des expériences d'une exquise précision, l'action diverse des différents rayons lumineux sur la direction des tigelles et des radicules.

Parmi les plantes grimpantes il en est, comme le *Convolvulus sepium*, dont les tiges tournent en montant toujours de droite à gauche autour de leurs supports, tandis que d'autres, comme celles du houblon, tournent toujours de gauche à droite. Quelle est la cause de ce mouvement de préhension spontanée? M. du Trochet détacha des sommets de tiges de ces plantes volubiles, plongea leur base dans l'eau loin de tout support. Ils montèrent dans le sens révolutif caractéristique de leur espèce. On aurait cru voir des bras cherchant à saisir un point d'appui dans l'espace. Leur enroulement tenait donc à une force intérieure dont l'action incurvante s'exerce dans le tissu de la tige autour de son axe central, et suivant une direction spirale qui n'est point susceptible de se renverser. Tout était nouveau dans ces expériences qui mettaient en lumière l'un des phénomènes vitaux les plus curieux du règne végétal.

Les faits les plus insignifiants en apparence devenaient pour M. du Trochet une occasion de découvertes. En 1846 la Société royale d'agriculture, dont il était le membre, lui ayant confié le soin de déterminer la nature de quelques lambeaux d'étoffe trouvés dans un sarcophage, il fit sortir de l'analyse microscopique de leur tissu la probabilité que la race mérinos à fine laine avait existé en Égypte au temps de son antique civilisation, et qu'après en avoir disparu depuis plusieurs siècles elle lui était rendue par l'Europe, qui l'avait reçue elle-même des Maures africains.

Mais, au milieu de tous ces travaux, la préoccupation constante de M. du Trochet était de faire admettre l'endosmose comme un phénomène d'un ordre nouveau, et d'assurer ainsi à sa découverte de prédilection une place considérable dans le domaine de la science.

De nouvelles expériences, entreprises d'après les indications de M. Dulong, qu'il n'avait pas encore converti, firent voir qu'avec des milieux acides les courants prennent, à travers les membranes séparatives, une direction contraire à celle que l'action de la viscosité aurait dû leur imprimer, si elle en eût été la cause déterminante. C'est du reste ce qu'il avait déjà vu, en 1832, dans ses observations sur l'eau et l'alcool.

Devant ces preuves décisives, toutes les contradictions cessèrent, et M. du Trochet eut le rare bonheur d'assister à son propre triomphe. « Les oppositions que j'avais rencontrées » jusque-là, dit-il, étant tombées, j'eus le plaisir de voir l'en- » dosmose prendre la place qu'elle devait occuper dans les » ouvrages de physique et de physiologie, ainsi que dans les » leçons des professeurs de ces sciences. »

Il avait un tel respect pour la vérité, qu'il ne pouvait souffrir la pensée de laisser subsister dans ses écrits les pages qu'il croyait entachées d'erreur. Il les élaguait comme des branches mortes, et quand il fit de tous ses mémoires épars une collection, il la publia avec cette épigraphe : « Je » considère comme non avenu tout ce que j'ai publié précé- » demment sur ces matières et qui ne se trouve point repro- » duit dans cette collection. »

M. du Trochet pouvait croire avoir payé sa dette à la science. Une lente mais persistante recrudescence de son ancienne affection cérébrale lui rendrait l'observation de plus en plus pénible. Bientôt cependant la passion de connaître l'emporta sur le sentiment de sa propre conservation. « Je sentais, dit- » il, le besoin impérieux de ne plus occuper ma tête. Mais un » autre besoin non moins impérieux, celui de satisfaire l'in- » satiable désir de sonder les mystères de la nature me fit » promptement oublier ma résolution. »

Il ne put renoncer au travail, et la mort le frappa, le 4 février 1847, au moment où il corrigeait les épreuves de son dernier écrit.

Sa vie ne fut ainsi qu'une longue journée de travail, au soir de laquelle le bon serviteur de la science, léguant son œuvre à la postérité, rendit l'âme à Dieu, dans la foi des éternelles espérances.

COSTE (de l'Institut).

PHYSIQUE MÉDICALE.

COURS DE M. GAVARRET (1).

Sources de la chaleur des climats.

Nous avons étudié la distribution de la température dans l'atmosphère, dans les eaux, et enfin les circonstances qui modifient le plus la constitution d'un climat; nous devons

(1) Voyez les numéros 7, 8, 10 et 12.

Digitized by Google

chercher maintenant quelles sont les sources de la chaleur des climats.

La température est l'élément le plus essentiel des climats, celui qui prime tous les autres. Pour s'en convaincre il suffit de constater quelle est son influence sur le développement des végétaux qui, directement ou indirectement, constituent la nourriture de l'animal.

Voulant connaître d'une manière exacte l'influence de la température sur la végétation, M. Boussingault a étudié la culture d'une même céréale dans des lieux différents; il a mesuré le nombre de jours qu'il faut à un grain d'orge pour germer et se développer en tige chargée d'un épi mûr, en un mot pour parcourir le cycle complet de sa végétation. Le tableau qui suit vous donne ces résultats :

	Jours.	Température moyenne.
Santa-Fé de Bogota.....	122	14°,7
Alsace.....	92	19°
Égypte.....	90	21°

Ainsi il faut à l'orge des temps différents pour arriver à son développement complet, et le nombre de jours est d'autant plus grand que la température moyenne est plus basse. Faites la multiplication du nombre de ces jours par la température moyenne correspondante, et vous obtiendrez des produits proportionnels aux quantités de chaleur que l'orge a reçues pour mûrir. Ces produits sont sensiblement égaux, ils établissent que l'orge pour son développement a toujours besoin d'une même quantité de chaleur : il faut noter cependant qu'il est nécessaire que la température atteigne un certain degré sans lequel cette céréale ne pourrait arriver à maturité complète.

Connaissant l'influence de la température extérieure sur le développement de la végétation, sachant du reste quel est le rôle du végétal, nous pouvons dire que la température assure le développement et le maintien des êtres organisés à la surface du globe.

Quelles sont les sources de la chaleur des climats? Sont-elles variables? sont-elles constantes? Telles sont les questions importantes que nous devons aborder maintenant.

La chaleur centrale du globe, la température des espaces célestes et le soleil sont évidemment les trois sources de chaleur qui peuvent être la cause de la température des climats. Étudions séparément leur influence et voyons pour quelle part ces trois sources contribuent chacune à maintenir la température des climats.

A l'origine des choses la terre était liquide, sa forme renflée à l'équateur et son aplatissement vers les pôles en sont la preuve évidente. Tout corps peut être amené à l'état liquide par voie de dissolution aqueuse ou par voie de fusion ignée. Les géologues de l'école neptunienne n'ont voulu admettre qu'une fluidité aqueuse; suivant eux, les matières terrestres étaient originairement dissoutes dans un liquide et la charpente solide du globe s'est formée par voie de dépôt ou de précipitation. Pour les plutoniens, la fluidité des principes constituants du globe fut jadis le résultat d'une très-haute température. La surface s'est solidifiée en se refroidissant. Pour décider quel est le système qui a pour lui la vérité, il a suffi d'examiner s'il existait dans le sein du globe des indices certains de la chaleur d'origine invoquée par les plutoniens, et les résultats de l'expérience ont pleinement démontré l'exactitude de ce dernier système.

La température à la surface de la terre varie constamment. Si l'on enfonce dans le sol des thermomètres munis de longs tubes, on trouve qu'à 1 mètre de profondeur les variations quotidiennes ne se font plus sentir; les variations saisonnières peuvent pénétrer un peu plus bas, mais elles sont toujours très en retard sur les températures atmosphériques, à cause du temps que met la chaleur à pénétrer dans la terre. Plus on descend, plus les variations deviennent minimes; puis on arrive à une couche de température constante qui ne varie jamais, et qui se trouve être celle de la moyenne du lieu. On rencontre à Paris cette couche de température invariable à 28 mètres de profondeur. Le thermomètre, installé par Lavoisier dans les caves de l'Observatoire, marque invariablement 10°,8. Il y a quelques années, ce thermomètre présenta une légère variation, mais on reconnut qu'une fissure s'était produite des caves vers les catacombes; la fissure fut bouchée, le thermomètre revint à la température de 10°,8 qu'il a toujours marquée depuis.

La profondeur de cette couche invariable varie avec les climats. Dans les régions intertropicales où la différence entre les températures moyennes de l'hiver et de l'été est peu sensible, M. Boussingault a démontré qu'il suffit, dans un lieu abrité du soleil depuis longtemps, de creuser un trou de 40 centimètres de profondeur, et d'y descendre un thermomètre pour constater la température de cette couche invariable qui est aussi la température moyenne du lieu.

L'expérience démontre qu'au-dessous de cette couche de température invariable la température croît avec la profondeur et elle augmente de 1 degré par 32 mètres. Il s'est fait une vérification importante de cette loi dans le forage du puits artésien de Grenelle, dont la profondeur est de 548 mètres. En prenant pour point de départ la température constante de 10°,8 que donne le thermomètre placé à 28 mètres de profondeur dans les caves de l'Observatoire, on arrive à trouver que la température de la terre à la profondeur de 548 mètres doit être de 27°,75; or l'eau qui jaillit du puits à la surface offre une température de 27°,70. Il était difficile de trouver une plus belle vérification de cette loi de l'accroissement de la température avec la profondeur dans les couches du globe. En suivant les conséquences de cette loi bien établie aujourd'hui, on trouve à quelle profondeur la température est suffisamment élevée pour fondre les métaux connus. On obtient les résultats suivants :

	Fusion.	Profondeur.
Bronze.....	900°	27 000 mètres.
Argent.....	1000°	30 000 —
Fonte blanche..... ..	1100°	33 000 —
Fonte grise.....	1200°	36 000 —
Or....	1250°	37 500 —
Acier.....	1400°	42 000 —
Fer martelé anglais.....	1600°	48 000 —

Ainsi à 12 lieues de profondeur ces métaux seraient à l'état de fusion par suite de la température du globe. M. Hopkins, cependant, fait remarquer qu'en raison de la pression énorme causée par les couches qui leur sont superposées, les matières placées à une grande profondeur doivent exiger pour fondre une température bien supérieure à celle qui déterminerait leur fusion à la surface de la terre. Il en conclut que l'écorce solide du globe a une épaisseur considérablement plus grande que celle qui lui est assignée par le calcul, quand on admet le même point de fusion pour les couches superficielles et profondes. Reste toujours ce fait considérable que vers 15 ou 16 lieues de profondeur la température est assez élevée pour

Digitized by Google

que tous les métaux connus soient en pleine fusion. Les animaux et les végétaux se développent et vivent à la surface du globe sur un mince glaçon entourant une mer de feu qui n'a pas moins de 3000 lieues de diamètre.

La terre a donc été jadis à l'état fluide et son enveloppe solide s'est formée par voie de refroidissement. Une question importante est de savoir si elle continue à se refroidir.

La terre tourne autour de son axe, et l'on appelle jour sidéral le temps que met la terre à opérer une rotation complète, c'est-à-dire le temps qui s'écoule entre deux passages successifs d'une même étoile au méridien. Or, si la terre s'était refroidie, elle aurait diminué de volume ; la durée d'une rotation complète sur son axe serait donc plus courte et le jour sidéral n'aurait plus la même longueur. On démontre, en effet, en mécanique, qu'une sphère tournant sur son axe, sous l'influence d'une même force d'impulsion, prend un mouvement de rotation plus rapide quand elle diminue de volume sans changer de poids. Les astronomes de l'école d'Alexandrie ont laissé des observations d'où l'on peut déduire avec une très-grande exactitude quel était, il y a deux mille ans, le chemin moyen que la lune parcourait en un jour sidéral. Or les observations modernes établissent que l'arc parcouru en un jour sidéral par notre satellite est exactement le même ; ce qui prouve que la durée du jour sidéral n'a pas changé, que par conséquent le volume de la terre n'a pas varié, et que la terre ne s'est pas refroidie. En prenant pour coefficient de dilatation de la terre $\frac{1}{100000}$, si la terre s'était refroidie de 1 degré depuis deux mille ans, il y aurait eu une augmentation de $\frac{1}{10}$ dans la vitesse de rotation et le jour sidéral se serait raccourci de 1",7. Les observations du mouvement propre de la lune prouvent que, depuis le temps d'Hipparque, le jour sidéral n'a pas même varié d'un centième de seconde, donc la terre ne s'est pas refroidie de $\frac{1}{170}$ de degré. Nous pouvons donc dire que la température centrale du globe est stationnaire. Mais il est important de chercher si elle contribue pour une part notable à la température actuelle de la surface.

A la fin du XVIIIe siècle, Buffon et Bailly ont soutenu que l'influence de la chaleur centrale du globe sur la température des climats est 29 fois plus forte que celle du soleil en été et 400 fois plus en hiver. Buffon, pensant que le refroidissement de la terre continuait sans cesse, avait même annoncé la fin du monde par l'extension des glaces du pôle. Mais Fourier a fait voir l'inexactitude de toutes ces hypothèses, et il a parfaitement démontré, avec la sévérité des calculs mathématiques, que la chaleur centrale du globe n'entre pas pour $\frac{1}{30}$ de degré dans la température des climats. Concluons qu'il ne faut pas chercher dans la chaleur centrale du globe la source de la température des climats.

Il y a un échange continuel de chaleur entre la terre et les espaces célestes. La température actuelle de l'espace a été estimée par Fourier à — 70 degrés; M. Pouillet l'a évaluée à — 140 degrés; nous pouvons pour le présent considérer cette température comme constante. Quelle qu'en soit l'intensité, la chaleur des espaces célestes est probablement due au rayonnement de tous les corps de l'univers dont la lumière arrive jusqu'à nous. Si la position relative des divers astres restait toujours la même, il n'y aurait pas lieu de se préoccuper de l'influence que peut exercer sur la chaleur des climats la température des espaces célestes. Mais, comme la nébuleuse dont la terre fait partie n'occupe pas toujours la même position fixe dans l'univers et que notre système planétaire tout entier est entraîné avec une grande rapidité vers la constellation d'Hercule, on comprend que par suite de ce déplacement notre système planétaire peut arriver à traverser des points de l'espace où la température soit bien différente de celle qui existe actuellement.

Comme troisième source de la température des climats, nous avons le soleil, et nous pouvons dire de suite que la chaleur rayonnée par cet astre est la source principale de la température des climats, en même temps qu'elle est la cause première de toute la végétation à la surface du globe.

M. Pouillet a cherché à mesurer la quantité de chaleur fournie annuellement à la terre par le soleil, et il a trouvé que cette chaleur est assez considérable pour fondre une couche de glace qui enveloppe rait la terre entière et qui aurait une épaisseur de 31 mètres. Une hauteur de 31 mètres représente par mètre carré un poids de 28830 kilogrammes de glace qui, pour fondre, exige 2 277 570 calories. Toute cette quantité de chaleur ne parvient pas jusqu'à nous. Les 4 dixièmes sont absorbés par l'atmosphère, la terre n'en reçoit réellement que les 6 dixièmes, c'est-à-dire moyennement et dans l'espace d'une année, une quantité de chaleur égale à 1 367 548 calories par mètre carré. Si vous voulez concevoir combien est immense cette quantité de chaleur, il suffit de vous rappeler que la France occupe une bien faible place sur la surface de la terre, et que le plus petit de nos départements, le département de la Seine, a cependant 475420000 mètres carrés de surface. Vous admettrez donc facilement que toute la chaleur nous vient du soleil. Mais cette quantité de chaleur reçue par la terre est-elle toujours la même? Ne peut-elle pas éprouver une perturbation par les variations qui atteignent certains éléments astronomiques ou par la diminution de l'intensité de la radiation solaire? C'est ce que nous devons maintenant examiner.

La quantité de chaleur que la terre reçoit du soleil varie proportionnellement à la durée des jours et en raison inverse de la longueur des nuits. Un accroissement de l'inclinaison du plan de l'écliptique sur l'équateur aurait donc pour résultat immédiat de rendre nos étés plus chauds et nos hivers plus froids, et de transformer nos climats variables en climats excessifs. Au contraire, les températures de l'été et de l'hiver se rapprocheraient, et nos climats tendraient à devenir constants si le plan de l'écliptique se rapprochait de l'équateur. Enfin, dans le cas où le soleil se mouvrait toute l'année dans le plan de l'équateur, la température de tous les climats deviendrait constante et sensiblement égale à leur température moyenne actuelle. Loin d'être désirable, cette égalisation des saisons modifierait profondément et d'une manière très-fâcheuse la végétation à la surface du globe. Ainsi, par exemple, à Paris, la température, se maintenant toute l'année aux environs de 10°,8, ne serait jamais suffisamment élevée pour que les fruits et les céréales pussent arriver à maturation. Les observations astronomiques démontrent que l'inclinaison de l'écliptique sur l'équateur n'est pas constante; cette variation s'opère avec une lenteur excessive, et d'ailleurs Laplace a découvert qu'elle est le résultat d'oscillations périodiques et de sens contraires comprises entre des limites trop restreintes pour exercer une influence appréciable sur la constitution de nos climats.

Le soleil n'est pas toujours également éloigné de la terre. Aujourd'hui sa moindre distance s'observe dans les premiers

Digitized by Google

jours de janvier, et la plus grande six mois après ou dans les premiers jours de juillet. Ce point de l'orbite du soleil, correspondant à la moindre distance à la terre, se déplace lentement, et il arrivera un jour où le minimum d'éloignement arrivera en juillet. Comme le point de l'orbite où le soleil se trouve le plus près de la terre est en même temps le point où cet astre se meut le plus rapidement, on aura, en raison d'un moindre éloignement, un printemps et un été plus chauds qu'ils ne le sont aujourd'hui; à raison d'une plus grande vitesse, deux saisons plus courtes d'environ sept jours; le calcul démontre qu'il y a compensation exacte : ajoutons d'ailleurs, que ce déplacement du périgée est excessivement lent, et que depuis l'origine des temps hisioriques, le point de l'orbite du soleil correspondant à la moindre distance de la terre s'est à peine déplacé de quelques jours.

Les changements qui s'opèrent dans la position de l'orbite apparente du soleil ne peuvent pas modifier les climats terrestres. En est-il de même des variations que cette orbite éprouve dans sa forme?

L'orbite apparente du soleil est actuellement une ellipse très-peu différente du cercle. Dans cette ellipse, le grand axe conserve toujours la même longueur; l'excentricité, au contraire, varie et avec elle la longueur du petit axe. Hâtons-nous d'ajouter que cette variation s'effectue si lentement, qu'il faudrait plus de dix mille ans pour qu'elle occasionnât un changement mesurable au thermomètre dans la température de la terre.

Ainsi donc, la chaleur centrale de la terre ne saurait plus occasionner une variation sensible dans les climats; la température de l'espace doit demeurer à peu près constante, et les changements de forme et de position de l'orbite terrestre sont tellement minimes, que leur influence thermique échappe aux instruments les plus délicats; il nous reste actuellement à chercher si la radiation solaire a diminué d'intensité.

Il existe des taches sur la surface du soleil; des esprits sérieux se sont demandé si ces taches n'étaient pas le résultat d'un affaiblissement de la radiation solaire, et si même elles ne devaient pas continuer à s'accroître. Pour rechercher si l'intensité de la radiation a diminué depuis les temps historiques, remontons à l'époque où les Hébreux arrivèrent en Palestine.

Il y avait alors dans le pays des vignes cultivées. Les envoyés de Moïse rapportèrent des grappes magnifiques qu'ils avaient cueillies dans la terre de Chanaan. Dans plusieurs passages de la Bible, il est question des vignobles de la Palestine. La fête des Tabernacles se célébrait à la suite des vendanges. On cultivait aussi en Palestine le palmier. La ville de Jéricho s'appelait la ville des palmiers. La Bible parle des palmiers de Débora. Les Juifs mangeaient les dattes, ils en tiraient aussi une liqueur fermentée. On ne peut donc pas douter que le palmier ne fût cultivé très en grand par les Juifs. En résumé, il est bien établi que dans les temps les plus reculés on cultivait simultanément le palmier et la vigne au centre des vallées de la Palestine.

Pour que le palmier fructifie, ou plus exactement pour que la datte mûrisse, il faut au moins une température moyenne de 21 degrés. D'un autre côté, la vigne ne peut pas être cultivée avec profit et cesse de donner des fruits propres à la fabrication du vin dès que la température moyenne est de 22 degrés. Il faut donc admettre qu'au temps de l'établissement des Hébreux, la température moyenne de la Palestine ne dépassait pas 22 degrés, et qu'elle n'était pas au-dessous de 21 degrés. Or, à l'époque actuelle, la température moyenne de la Palestine est comprise entre 21 et 22 degrés. Ainsi, la constance de température de ce pays qui n'a pas éprouvé de grandes modifications, de grands défrichements, a conduit à cette conséquence, que trente-trois siècles n'ont apporté aucun changement aux propriétés calorifiques du soleil.

Y a-t-il d'autres causes qui puissent faire varier la température des climats? Si les causes cosmiques n'ont pas apporté de grands changements, le travail de l'homme est-il capable de modifier les climats?

Il y a un pays où se sont produits de grands changements en peu de temps, c'est l'Amérique. Des déboisements considérables ont été exécutés dans les plaines et sur les montagnes, de nombreux marais ont été desséchés. Les observations de M. Boussingault nous apprennent que dans ces contrées les hivers sont devenus moins rigoureux, les étés moins chauds. Le bénéfice des hivers n'a pas seulement compensé la perte des étés; mais il résulte aussi de ces mêmes observations, que la température moyenne s'est légèrement accrue. La comparaison de l'état actuel de la France à celui des Gaules, au moment de l'invasion romaine, montre que depuis cette époque reculée l'aspect physique de notre pays a éprouvé de profondes modifications; de grandes forêts ont disparu, les cours d'eau ont été régularisés, les régions jadis inondées d'une manière permanente sont aujourd'hui en pleine culture. Les observations faites en Amérique nous permettent donc d'admettre par voie d'analogie que, depuis le commencement de notre ère, le climat de la France s'est graduellement adouci; il est devenu moins variable, et la température moyenne s'est sensiblement élevée.

De la distribution de l'humidité dans l'atmosphère.

L'atmosphère contient toujours une certaine quantité de vapeur d'eau qui assure le développement des êtres organisés à la surface du globe. Cette quantité d'eau varie continuellement, mais l'air n'est jamais saturé, et il ne lui arrive pas non plus d'être complétement sec.

On entend par humidité ou fraction de saturation de l'air, le rapport entre la quantité de vapeur d'eau qu'il contient et celle qu'il contiendrait s'il était saturé à la même température; on dit aussi que c'est le rapport entre la tension actuelle de la vapeur d'eau contenue dans l'air et la tension maxima correspondant à cette même température. L'expression d'humidité n'est donc pas synonyme de quantité de vapeur d'eau, mais exprime, en réalité, la tendance de cette vapeur à se précipiter.

La tension maximum de la vapeur d'eau augmente très-rapidement avec la température et, comme il faut d'autant plus de vapeur pour saturer l'air que sa température est plus élevée, l'air peut être très-humide avec peu de vapeur, s'il est froid; il peut être très-sec avec une plus grande quantité de vapeur, s'il est chaud.

L'humidité n'est pas toujours la même dans une journée, elle éprouve des variations horaires. A partir du lever du soleil la température s'élève et la quantité de la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère s'accroît, tandis qu'elle diminue à mesure que la température baisse. Il n'en est pas de même de l'humidité, c'est le matin avant le lever du soleil que la

Digitized by Google

quantité de vapeur atteint son minimum ; en même temps, à cause de l'abaissement de la température, l'humidité est à son maximum. A mesure que le soleil s'élève sur l'horizon, l'évaporation augmente, et l'air reçoit à chaque instant une plus grande quantité de vapeur. Mais comme l'air oppose un obstacle à la formation de cette vapeur, il s'éloigne de plus en plus de son point de saturation, et l'humidité devient de plus en plus faible. L'humidité de l'air et la quantité de vapeur d'eau qu'il contient suivent donc en général une marche inverse, puisque l'air est le plus sec vers deux heures de l'après-midi quand l'atmosphère, par suite de son élévation de température, est à même de contenir une plus grande quantité de vapeur.

Les variations mensuelles donnent des résultats analogues. Janvier est le mois le plus froid et juillet le plus chaud, il y a dans l'air moins de vapeur d'eau en hiver qu'en été; mais si vous considérez l'humidité vous trouverez qu'en hiver l'humidité est plus considérable, tandis que juillet est le mois le plus sec. Cette question de l'humidité est très-importante, parce que ce n'est pas par sa quantité que la vapeur d'eau agit sur les êtres organisés mais par l'humidité, c'est-à-dire par la plus grande facilité à se déposer.

On peut étendre ces considérations relatives à l'humidité aux différents lieux de la terre. Quand on s'éloigne de l'équateur, on passe par des régions dont l'air contient moins de vapeur d'eau, mais l'humidité augmente à mesure qu'on se rapproche du pôle, par suite de l'abaissement de la température. Ces résultats sont entièrement en rapport avec les phénomènes naturels ; il suffit à cet égard de comparer les pluies de l'équateur et des régions à latitudes élevées. La quantité d'eau qui tombe dans les contrées équatoriales en l'espace de quelques mois est plus considérable que celle de toute l'année chez nous. Ajoutons qu'entre les tropiques il ne pleut que durant une ou deux heures pendant la journée, ce qui rend le contraste encore plus frappant.

Si l'on considère la position des lieux par rapport au voisinage de la mer, si l'on compare les climats continentaux et les climats marins, on trouve que ces derniers sont plus humides, mais ils ne sont jamais saturés. C'est que l'eau contenant des sels fournit à température égale moins de vapeur que l'eau distillée. L'expérience a démontré que l'eau de la mer n'émet qu'une quantité de vapeur égale à celle qui serait produite par une même masse d'eau distillée plus froide de 3°,5. Telle est l'explication de ce fait que l'atmosphère des pays situés près de la mer et même des îles perdues au milieu de l'Océan n'est jamais saturée, comme on serait tenté de le croire au premier abord. Il faut savoir aussi que, même après les grandes pluies d'orage, l'air n'est jamais saturé de vapeur d'eau ; il en approche plus ou moins.

En prenant les climats par latitude, nous avons vu que les plus humides sont ceux qui se rapprochent du pôle; en les considérant par rapport à leur éloignement de la mer, les climats continentaux sont les moins humides. Il y a une circonstance qui exerce une très-grande influence sur l'humidité, c'est la variabilité de la température. Les climats continentaux, qui sont excessifs au point de vue de la température, sont aussi excessifs au point de vue de l'humidité.

D'une manière générale on peut dire que l'humidité diminue à mesure qu'on pénètre dans les continents. Cette règle se confirme dans les steppes de la Sibérie, dans les déserts de l'Afrique et de l'Asie. Tous les phénomènes météorologiques s'enchaînent réciproquement : ainsi les déserts de l'Afrique étant tout à fait arides, privés de verdure et de végétation, ne sont le siége d'aucune évaporation. En outre l'extrême chaleur, accrue encore par la reverbération du sable, s'oppose aux précipitations aqueuses et, par conséquent, cette contrée est condamnée à une éternelle stérilité. Sans doute si l'on pouvait par un moyen quelconque établir une couche de verdure, il y aurait dépôt de rosée pendant la nuit, évaporation pendant le jour, l'atmosphère se chargerait de vapeur d'eau, l'humidité s'entretiendrait, mais l'impossibilité est d'arriver à faire naître cette végétation qui a besoin d'une atmosphère suffisamment humide pour s'établir et se développer.

Examinons maintenant si les couches supérieures de l'atmosphère sont plus sèches ou plus humides que les inférieures, et voyons quelle est l'influence de l'altitude sur l'humidité. A la surface de la terre, dans nos climats, l'humidité est moyennement de 0,50, elle peut tomber à 0,20 et même 0,17; elle peut s'élever jusqu'à 0,80. D'après les observations de de Saussure, Deluc et de Humboldt, on serait tenté d'affirmer que la sécheresse est toujours plus grande sur les montagnes que dans les vallées, mais il faut remarquer que ces observateurs ont toujours choisi de beaux jours pour gravir les montagnes dont l'ascension est impraticable par les temps de brouillard. Leurs observations ont donc été faites dans des circonstances exceptionnelles. Il en est de même des résultats obtenus par Gay-Lussac, lors de son voyage aérostatique. Le même jour, à Paris, l'humidité était de 0,34, et il a trouvé :

A 3033 mètres.....	0,38
A 3691 —	0,28
A 4327 —	0,14
A 5265 —	0,12

Plus haut la sécheresse fut telle que les bois des instruments se gauchirent; Gay-Lussac fut dans l'impossibilité de continuer ses observations.

Pour étudier très-exactement la variation de l'humidité avec la hauteur, Kaemtz fit pendant onze semaines, dans les mois d'août, septembre et octobre, des observations sur le sommet du Faulhorn. L'humidité fut trouvée de 74,4, tandis que pendant le même temps elle fut de 74,8 à Zurich. Dans une autre série d'observations qui durèrent neuf semaines, le même savant trouva que sur le sommet du Rigi l'humidité était de 84,3, et à Zurich pendant les jours correspondants elle fut de 74,6. Ces nombres représentent des moyennes.

MM. Bravais et Martins sur le sommet du Faulhorn ont fait de nouvelles observations, du 16 juillet au 5 août ; les résultats qu'ils ont trouvés pour l'humidité relative, comparée à celle de Zurich et de Milan, confirment pleinement les précédents :

Sommet du Faulhorn.....	75,9
Zurich.....	72,9
Milan.....	63,2

On est donc en droit de conclure de ces divers résultats que l'air des couches supérieures est aussi humide que celui des couches inférieures, et que l'humidité ne décroît pas à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère. Il faut cependant reconnaître que par les beaux jours on peut observer sur les montagnes une sécheresse tellement forte qu'on n'en connaît pas de semblable dans les vallées. On voit même parfois, sur le haut sommet des Alpes, sous l'influence d'un vent vif, la neige disparaître avec une extrême rapidité sans mouiller la terre, parce qu'elle se transforme immédiatement en vapeurs.

Digitized by Google

Ce qui a lieu pour l'humidité arrive également pour la température, car les variations du thermomètre sont toujours beaucoup plus considérables sur le sommet des montagnes que dans les vallées.

Les vents régnants exercent aussi une grande influence sur la distribution de l'humidité. Quand ce sont des vents marins, l'humidité augmente; quand souffle un vent continental, il dessèche l'atmosphère, à moins que ce ne soit un vent froid qui d'abord condense la vapeur d'eau en suspension dans l'air.

Cette question de la répartition de l'humidité est donc très-complexe, et tient à des causes diverses, les unes fixes, les autres variables; ce qu'il faut bien savoir, c'est que les climats continentaux et les climats des montagnes, par rapport à l'humidité, sont aussi excessifs que pour la température, tandis que les climats marins sont également constants pour la température et l'humidité. Quand on donne des conseils aux malades, il ne faut pas seulement considérer la température, mais il faut tenir grand compte de l'humidité. Lorsque l'air arrive sec dans les bronches, il élève leur température et absorbe une grande quantité de vapeur d'eau, cet air paraît rude et excitant pour les personnes à poitrine délicate qui sentent parfaitement ces différences. Ne leur conseillez jamais d'aller habiter les climats des montagnes, envoyez-les, au contraire, dans les climats marins qui sont pour elles des climats doux tant par leur température que par la vapeur qui rend l'air suffisamment humide.

Ces lois relatives à l'humidité ne sont que des lois générales; mais, pour faire l'histoire des climats, rien ne remplace l'observation directe qui peut seule fournir des données vraies et exactes.

Après ces études sur l'atmosphère, mon intention est d'aborder un sujet qui paraît étranger aux questions qui intéressent le médecin, mais sur lequel vous devez avoir des notions exactes pour formuler votre opinion dans les conseils d'hygiène publique où vous pourrez être appelés.

Depuis un certain nombre d'années, on se plaint que les cours d'eau sont diminués, les rivières se sont ensablées, des sources abondantes se sont taries. Les rivières sont sujettes à des crues subites, elles débordent fréquemment, elles sont impropres à la navigation et leur régime est tout à fait irrégulier. Tout cela concorde avec le déboisement qui s'opère dans les plaines pour la grande culture et sur le sommet des montagnes.

En France, il est bien difficile de réunir des observations suffisantes pour apprécier cette influence du déboisement, il faut les chercher dans un pays où de grands changements ont été opérés en peu d'années, comme en Amérique. Pour bien saisir cette influence il faut étudier le régime des lacs, et dans ce but, M. Boussingault a réuni des observations très-intéressantes; j'en choisirai quelques-unes, d'abord dans les lieux où la culture n'a pas changé.

Dans la Cordilière Sogameso, à 4000 mètres d'altitude, on trouve le lac Lota. La végétation des environs a toujours été à peu près nulle. Ce lac a été visité en 1542, par Piedrahita; en 1652, par d'autres voyageurs; en 1824, par M. Boussingault. La description qui en avait été donnée, il y a trois siècles, a permis de constater que le lac était complétement resté le même; il est toujours demeuré circulaire ayant deux lieues de diamètre.

Sur la route de Quito se trouve le lac San Pablo, à 2762 mètres d'altitude dans une vallée très-cultivée. Le lac et le pays n'ont pas changé depuis le temps de la première invasion du Pérou.

Ainsi donc dans les pays où les conditions de culture et de boisement n'ont pas été modifiées, le régime des lacs est resté stationnaire. Examinons ce qui arrive pour les lieux où la culture a changé.

En 1555, à 2000 mètres des bords du lac Valencia, recevant toutes les eaux de la vallée d'Aragua, fut fondée la ville de Nueva Valencia. Plus tard, en 1800, M. de Humboldt, visitant le pays, chercha le lac qui se trouvait à 5260 mètres de la ville; les eaux avaient baissé, certaines îles signalées dans les descriptions antérieures étaient devenues des monticules et, là où se trouvaient des bas-fonds, de nouvelles îles avaient paru. Il y avait eu de grands déboisements qui avaient été opérés dans les environs. En 1825, vingt-cinq ans plus tard, M. Boussingault a constaté que le lac était en train de revenir à sa largeur première; mais la culture avait été négligée par suite des guerres civiles et le pays s'était reboisé.

Dans la Nouvelle-Grenade, Ubaté était, au XVIIIe siècle, sur les bords d'un lac. Depuis cette époque, les eaux se sont retirées, le lac s'est coupé en deux; ce résultat a coïncidé avec de nombreux défrichements et déboisements faits dans les environs. Dans la même vallée existe le lac Fequenée, dont la longueur, au XVIe siècle, était de dix lieues et la largeur de trois lieues. Roulin, en 1825, l'a mesuré et lui a trouvé une lieue de long sur une demie de large; dans l'intervalle la vallée avait été déboisée.

Dans l'île de l'Ascension les voyageurs avaient constaté une belle source au pied d'une montagne boisée; la montagne est déboisée, la source se tarit; par suite des guerres civiles la culture est négligée, le reboisement s'opère et la source reparaît.

Enfin, M. Boussingault, en 1825, avait monté, dans la province de Popayan, une usine de métaux précieux, les cours d'eau descendant de la montagne de Marmato avaient été employés comme moteurs; l'usine prospéra, des habitants s'établirent dans les environs et défrichèrent le pays; au bout de deux ans le déboisement était considérable, les cours d'eau avaient diminué et ne pouvaient plus faire mouvoir les machines.

De tous ces résultats nous sommes autorisés à conclure que les grands déboisements favorisent l'évaporation et rendent les condensations de vapeur d'eau très-irrégulières. Dans les pays très-boisés, l'eau des pluies peut être facilement retenue à la surface du sol. Pendant les nuits sereines les feuilles des arbres refroidies par le rayonnement nocturne condensent la vapeur d'eau contenue dans l'air; la présence des arbres fournit donc une immense surface de réfrigération qui a l'avantage de dépouiller l'air de la vapeur d'eau qu'il contient, de rendre les pluies moins torrentielles et par conséquent de régulariser le régime des sources et des grands cours d'eau, d'empêcher la dégradation du terrain et de ralentir l'ensablement du lit des rivières.

Dr E. MORIN, préparateur du cours,
Pharmacien en chef de l'hôpital Saint-Antoine.

Digitized by Google

CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS.

CHIMIE AGRICOLE (1).

COURS DE M. BOUSSINGAULT
(de l'Institut).

Constitution chimique des végétaux.

Racines de manioc. — Le manioc, *Jatropha manihot*, de la famille des euphorbiacées, habite les Antilles et les parties les plus chaudes de l'Amérique septentrionale. C'est un arbuste de 2 à 3 mètres, à tige noueuse, tendre et cassante. Les racines de cet arbre sont très-grosses et riches en amidon. On suit, pour extraire l'amidon, le procédé appliqué à la pomme de terre. Dans certains cas, il faut avoir soin de laver la pulpe un grand nombre de fois, car il est des racines qui contiennent un des sucs les plus vénéneux. On distingue le manioc en *yuca dulce* (douce) et *yuca brava* (méchante), cette dernière s'appliquant au jatropha à suc vénéneux. Le principe nuisible est très-volatil et facilement destructif par la chaleur : c'est de l'acide cyanhydrique. On peut sans danger manger la racine après qu'elle a été rôtie; mais les animaux qui la consomment crue ne tardent pas à éprouver les plus graves accidents. Les Indiens retirent de la *yuca brava* la *cassave* qui remplace le pain dans leur alimentation. Pour réduire la racine en pulpe, ils font une râpe avec des fragments de silex enchâssés à la surface d'un tronc d'arbre. Ils font égoutter la pulpe dans une longue passoire en forme de boyau et faite avec l'écorce d'une espèce de fucus; le suc égoutté, on ajoute de l'eau pour achever le lavage. Pour cuire la pulpe lavée et en faire des galettes de cassave, ils l'étendent sur un plat de terre placé sur le feu; l'opération est terminée quand la galette est légèrement rôtie à l'extérieur. Le pain de cassave est peu agréable; mais il se conserve longtemps malgré la chaleur et l'humidité. Le tapioca ou sagou blanc n'est autre chose que la fécule de manioc séchée sur des plaques chaudes et réduite en grains.

Constitution physique et chimique du principe amylacé. — Le principe amylacé existe dans un grand nombre de graines, de tiges et de racines. La fécule et l'amidon ont la forme de graines arrondies, d'aspect variable; leur longueur diffère suivant la nature de la plante d'où ils ont été extraits : pour la pomme de terre on trouve pour la longueur $0^{mm},185$; pour le blé $0^{mm},045$; pour la betterave $0^{mm},004$, etc. La formation de la matière amylacée commence par un granule sphéroïdal. On remarque sur chaque grain deux orifices qui portent le nom de *hile;* c'est autour de ces points que la matière se dépose concentriquement comme des sacs emboîtés les uns dans les autres. Cette structure est rendue évidente, si, après l'avoir chauffé jusqu'à 200 degrés, on l'observe au microscope : chaque grain représente en quelque sorte un chou. Si l'on soumet la matière amylacée à l'action de l'eau portée à l'ébullition, elle paraît se dissoudre; néanmoins elle ne fait que de se désagréger. Les grains se gonflent, se pressent les uns contre les autres et forment ce que l'on appelle l'*empois*. L'iode a la propriété de communiquer une coloration bleue magnifique à la matière amylacée : cependant il faut que l'involucre de l'amidon et de la fécule soit brisé pour que la coloration se produise. Si l'on désagrége la matière amylacée on la métamorphose; il suffit pour cela d'introduire dans un tube fermé hermétiquement un mélange d'eau et de fécule que l'on chauffe dans le tube, pendant plusieurs heures, à 170 degrés : ce mélange perd la propriété de bleuir par l'iode.

Dans ce cas, la matière amylacée n'existe plus : elle s'est transformée en dextrine. Les acides minéraux étendus agissent sur la matière amylacée de la même manière que l'eau et la chaleur. On peut même suivre la progression du phénomène : on verse un peu de fécule dans de l'eau acidulée d'acide sulfurique et entretenue en ébullition; on porte presque immédiatement un peu du mélange dans un verre à expérience, et l'on fait, à de courts intervalles, plusieurs prises semblables; en essayant par la teinture d'iode tous ces échantillons refroidis, le premier prend une couleur bleue intense, le dernier présente une couleur rouge foncée qui est celle de la dextrine impure. Ce dernier liquide contient aussi de la glycose, et, si l'on prolongeait l'ébullition, toute la dextrine se transformerait en glycose.

Dans l'industrie pour obtenir le sirop de glycose on projette peu à peu 100 parties de fécule dans 500 parties d'eau à 100 degrés contenant 15 parties d'acide sulfurique normal : ce sirop est employé en grande quantité par les confiseurs. On peut encore préparer la glycose en faisant agir de l'acide sulfurique sur de la cellulose, et comme on sait que le coton, les fibres corticales, les fibres textiles, et par conséquent le vieux linge et le papier sont de la cellulose, on peut faire du sucre avec ces substances. Ainsi, si l'on verse de l'acide sulfurique sur de la charpie, on obtient une matière pâteuse et noire; on étend cette matière d'eau et on la porte à l'ébullition pendant cinq ou six heures. Pour saturer l'acide sulfurique, on ajoute de la craie; une effervescence se manifeste, l'acide carbonique de la craie se dégage, et il se forme du sulfate de chaux. Ensuite on filtre le liquide sur du *noir en grains*, on concentre le sirop, et on a ainsi de la glycose. Il y a des usines dans lesquelles on transforme ainsi la paille en glycose.

M. Braconnot a fait voir que la cellulose et l'amidon, dissous dans l'acide azotique très-concentré, puis précipités par l'eau, devenaient très-inflammables. Le coton trempé dans l'acide azotique acquiert les mêmes propriétés et porte le nom de *coton-poudre*. Le procédé le plus commode pour en préparer de grandes quantités et pour avoir un produit qui se conserve parfaitement est le suivant : on fait un mélange formé d'un équivalent d'acide azotique monohydraté (AzO^5,HO), et d'un équivalent d'acide sulfurique très-concentré (SO^3,HO). Le coton doit être immergé dans le mélange des deux acides pendant quinze à vingt minutes; on le retire et on le lave jusqu'à ce que toute trace d'acidité ait disparu; on le presse pour enlever la plus grande partie de l'eau de lavage, et on le dessèche sur des plaques chauffées par l'eau bouillante. La fécule, desséchée dans le vide à 125 degrés, puis refroidie et mise dans un mélange d'acides sulfurique et azotique, donne le *pyroxam* qui s'enflamme à 100 degrés.

Toutes les matières végétales ayant la composition de la cellulose, traitées par le mélange sulfo-nitrique acquièrent les propriétés du coton-poudre à des degrés variables.

C'est au moyen de l'analyse qualitative que l'on affirme qu'il y a dans les végétaux du carbone, de l'oxygène, de l'hydrogène et de l'azote; c'est par l'analyse quantitative que l'on trouve en poids la quantité de chacun des corps qui consti-

(1) Voy. les numéros 1, 2, 6, 8 et 11.

Digitized by Google

tuent les *principes immédiats organiques*. On dose le carbone à l'état d'acide carbonique, l'hydrogène à l'état d'eau, l'azote à l'état d'ammoniaque. Toutefois, ce dernier élément est dosé; pour quelques cas particuliers, sous forme de gaz, c'est-à-dire à son état naturel; enfin l'oxygène est dosé par différence. La matière à analyser est brûlée dans un tube avec du bioxyde de cuivre; il se forme de l'eau et de l'acide carbonique; l'azote exige une expérience à part. L'eau est retenue par un tube contenant du chlorure de calcium; l'acide carbonique est absorbé par une dissolution concentrée de potasse. Voici le résultat de l'analyse de quelques principes immédiats.

	Glycose.		Sucre.		Cellulose.		Dextrine.		Amidon.	
Carbone.	72		72		72		72		72	
Hydrog.	12	eau 108	11	eau 99	10	eau 90	9	eau 81	9	eau 81
Oxygène.	96		88		80		72		72	

Si l'on fait la somme du gaz hydrogène et du gaz oxygène, on trouve des nombres différents, mais qui sont tous deux en proportion pour former de l'eau. La somme 108 du gaz hydrogène et du gaz oxygène contenus dans la glycose et la somme 99 des mêmes gaz contenus dans le sucre ont pour différence 9, c'est-à-dire 1 équivalent d'eau.

Pour la cellulose et le sucre, la différence est aussi 9, et par conséquent de 1 équivalent; il en est de même pour la cellulose et la dextrine. Si HO représente 1 équivalent d'eau et si $C^{12}H^{12}O^{12}$ est la formule de la glycose, on a $C^{12}H^{11}O^{11}$ pour le sucre, $C^{12}H^{10}O^{10}$ pour la cellulose et $C^{12}H^{9}O^{9}$ pour la dextrine et l'amidon. Le tableau nous indique que ces deux derniers corps ont même composition chimique; ce sont des composés *isomères*. On appelle *isomères* les corps qui, tout en ayant la même composition centésimale, n'ont pas les mêmes propriétés chimiques. Tous ces principes immédiats sont le résultat de l'acide carbonique, de l'eau et du soleil agissant sur les feuilles. Nous avons vu que l'acide carbonique n'était pas décomposé, dans les feuilles, en oxygène et en charbon, mais en oxygène et en oxyde de carbone. Il reste dans la feuille de l'oxyde de carbone, CO, qui se combine avec l'hydrogène, H, de l'eau, nouveau composé, CHO, que l'on peut regarder comme la formule brute de la glycose. Ainsi se trouve expliquée l'origine du *principe sucré*, du *principe amylacé* et du *tissu cellulaire*. Nous allons maintenant étudier le *principe gras*.

Les corps gras sont répandus à profusion dans la nature vivante; il n'y a pas de plante qui n'en contienne, et ils sont très-abondants dans certaines semences, telles que celles du lin, du pavot, du ricin, du colza, du pin, du sapin, du noyer, de l'amandier, du palmier, etc. On en trouve plus rarement dans les parties charnues des fruits, tels sont pourtant ceux de l'olivier et du laurier. Les racines n'en sont pas exemptes.

Proportion des matières grasses contenues dans 100 de graines oléagineuses :

	Huile.
Colza	35 à 50
Lin	22 à 30
Pavot	34 à 52
Olive	9 à 11
Chènevis	15 à 30
Cacao	44 à 50

Huile produite par hectare :

Plantes oléagineuses d'hiver	600 kil.
Olivier	600
Palmier (Amérique)	900

Lorsque, dans la grande culture, on exploitera le palmier pour en extraire l'huile qu'il produit, aucune autre plante ne pourra être aussi avantageuse.

Les corps gras sont des substances neutres, insolubles dans l'eau, inflammables à une température élevée et susceptibles de se saponifier, c'est-à-dire de se décomposer sous l'action des alcalis en un corps acide qui reste combiné avec l'alcali et un corps neutre, la *glycérine*, qui joue dans les corps gras le même rôle que l'alcool dans les éthers composés. La glycérine, $C^6H^8O^6$, est un liquide sirupeux, incolore, incristallisable, inodore et sucré. Elle est soluble dans l'eau et dans l'alcool. On a préparé la glycérine en évaporant les eaux qui avaient servi à la fabrication des savons; maintenant, c'est dans les usines de bougies stéariques qu'on en obtient des quantités considérables. On se sert des eaux qui ont servi à la saponification du suif à l'aide de la chaux. Si l'on saponifie 100 grammes de matières grasses, on en retire 105 grammes; la glycérine en combinaison dans les corps gras ne contient pas autant d'eau qu'à l'état libre; aussitôt qu'elle abandonne l'acide gras en présence de l'eau, elle devient hydrate de glycérine.

Saponification par la potasse.

Graines mises à saponifier		100 gramm.
Acide gras	96,25	105,95
Glycérine	9, 7	
Gain		5,95

Il est utile de savoir la quantité d'huile contenue dans les graines, afin de vérifier si l'on a toute l'huile que contenaient ces graines.

Contrôle d'une extraction d'huile envoyée au moulin.

1256 kilogr. de colza contenaient	628 kil. d'huile.
Huile rendue	513,88
Huile restée dans le tourteau	62,95
Total	576,83

On avait gardé 51$^{kil.}$,07 d'huile au moulin.

Les principes immédiats subissent des modifications lorsque la plante arrive à maturité. Il n'y a pas de fruit qui présente un changement aussi marqué que les bananes. Le bananier, figuier d'Adam, ou des Indes, est une plante des plus communes, des plus utiles et des plus salutaires des climats chauds de l'Asie, sous la zone torride. C'est une plante herbacée dont les feuilles ont jusqu'à 2 mètres de longueur; le fruit croît en grappes autour du sommet de la tige et par étage; chaque étage forme ce qu'on appelle une *patte de bananes;* l'ensemble des pattes se nomme un *régime de bananes*. Ce fruit, qui est pulpeux, peut être mangé avant et après la maturité. Suivant l'époque à laquelle on fait la récolte, on peut avoir le fruit avec de l'amidon, ou avec de l'amidon mélangé avec du sucre, ou enfin avec du sucre seulement. A l'état vert, ce fruit est consommé comme du pain. La production du bananier est très-abondante, et l'on a remarqué qu'elle variait avec la température de la localité; ainsi un hectare rapporte annuellement :

Temp. 27°,05	184000 kilog.
26°,00	150000
22°,24	64000

Sa végétation n'est jamais suspendue, et l'on peut dire que, dans la région où mûrit la banane, l'homme n'a point à craindre la famine. Par la dessiccation, les bananes vertes peuvent se conserver indéfiniment; il suffit de les tremper dans l'eau pour les rendre propres à l'alimentation. — H. Amaury.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE — NUMÉRO 16 — 17 MARS 1866

Paris, 16 mars 1866.

Parmi les diverses communications faites lundi dernier à l'Académie des sciences, nous en signalerons particulièrement deux. M. Delaunay a présenté une note en réponse à certaines critiques adressées à son travail sur le ralentissement du mouvement de la terre. M. Chevreul a présenté, au nom de M. Lacaze-Duthiers, un mémoire contenant un certain nombre de recherches nouvelles qui montrent le danger des déductions à priori en zoologie, et particulièrement les erreurs considérables auxquelles peuvent conduire les observations faites à une seule période de la vie des animaux. Ces travaux sont exposés dans la leçon de M. Lacaze-Duthiers, que nos lecteurs trouveront plus bas. É. A.

SOIRÉES SCIENTIFIQUES DE LA SORBONNE.

CONFÉRENCE DE M. LESPÈS.

Les fourmis.

Mesdames et Messieurs,

Les fourmis partagent avec les abeilles le privilége d'être connues de tout le monde, et celui d'avoir de tout temps excité la curiosité et l'admiration. Leur activité incessante en a fait l'emblème du travailleur économe; malheureusement leurs déprédations les ont souvent fait considérer comme d'intrépides voleurs, et cela d'autant mieux qu'on les a bien des fois confondues avec les termites qui, dans les pays chauds et même en France, sont pour l'homme des ennemis autrement à craindre. Sauf un petit nombre d'espèces qui vivent dans nos maisons, et qui nous sont plus incommodes que nuisibles, les fourmis sont dignes de toute notre sympathie, et leur étude est une des plus attrayantes que l'on puisse imaginer.

Pierre Huber, qui avait appris de son père à bien observer, est le premier auteur qui ait fait connaître leurs mœurs. Latreille qui a publié un beau livre sur elles, s'est particulièrement occupé de distinguer les espèces, et encore n'est-ce que depuis peu d'années que cette étude, reprise par quelques naturalistes, nous les a mieux fait connaître. Au point de vue des mœurs, Huber est encore notre maître; les observations plus récentes sont éparses dans divers mémoires. Les auteurs d'ouvrages pittoresques ont surtout puisé dans Huber, mais ils se sont bien gardés de distinguer les espèces comme il l'avait fait avec soin, et l'histoire qu'ils ont eu la prétention d'écrire n'est qu'une fable comparable à celle que l'on écrirait sur l'homme en confondant tous les peuples en un seul.

Les naturalistes distinguent parmi les fourmis trois tribus dont deux sont représentées en France par de nombreuses espèces : les formicines et les myrmicines.

Fig. 69. — Formicine (ouvrière) (d'après une photographie de M. Ch. Lespès).

Fig. 70. — Myrmicine (ouvrière) (d'après une photographie de M. Ch. Lespès).

La troisième tribu, celle des ponérines, compte à peine une espèce française; ses mœurs sont très-peu connues, et, comme je ne veux vous entretenir que des fourmis de France, je ne m'occuperai que des deux premières tribus.

Les formicines (fig. 69) ont, comme la plupart des insectes voisins, l'abdomen réuni au thorax par un étroit pédicule, si étroit que l'on comprend difficilement ce corps partagé en deux, ou plutôt en trois, car le cou est aussi singulièrement mince. Ce pédicule est formé d'un seul nœud, leurs antennes sont filiformes. Voici une formicine; la tête porte en avant les antennes dont la première articulation est beaucoup plus longue que les suivantes, ce qui les fait paraître coudées; en dessous s'ouvre la bouche; le thorax est muni de trois pattes de

Digitized by Google

chaque côté; enfin l'abdomen est soutenu par un pédicule formé d'une seule articulation. La fourmi fauve qui construit dans les bois des environs de Paris ses grands amas coniques de bûchettes peut être considérée comme un type de cette tribu. La fourmi perce-bois que l'on trouve à Fontainebleau lui appartient aussi.

Voici à présent une myrmicine (fig. 70): tous les mêmes organes existent, mais le pétiole de l'abdomen est formé de deux articulations, de deux nœuds, et les antennes sont renflées à l'extrémité. Les fourmis rouges qui habitent les endroits humides appartiennent à cette tribu. Les formes des myrmicines sont plus allongées que celles des vraies fourmis, mais leurs pattes sont souvent moins longues et leurs mouvements ordinairement moins rapides. Ces différences importantes au point de vue de la classification, le sont moins au point de vue des mœurs.

Il ne faut point croire que les plus grosses espèces forment les plus grandes sociétés : la fourmi perce-bois, qui est notre géant, vit le plus souvent en petites familles. Il ne faudrait pas croire non plus que le contraire fût vrai ; chaque espèce, en cela comme en beaucoup d'autres points, a ses habitudes. Comme je ne puis évidemment faire l'histoire de toutes celles de France, — il y en a environ une soixantaine, — je vais vous entretenir d'abord de celles dont la société est le plus simple, puis je vous parlerai des diverses complications qui ont été observées.

En hiver, pour la plupart des espèces, la famille se compose d'ouvrières et de reines. Les ouvrières sont sans ailes pendant toute leur vie; ce sont elles que l'on voit courir à l'extérieur, et ce sont deux ouvrières dont je vous ai montré tout à l'heure les photographies amplifiées. (Voyez fig. 69 et 70.)

Pris ainsi sur la nature, ces dessins sont moins purs sans doute, mais beaucoup plus exacts que par tout autre procédé. Les reines ressemblent beaucoup aux ouvrières, sauf la taille qui est souvent très-considérable, et sauf le thorax qui est un peu plus large et sur le côté duquel on voit les cicatrices de deux paires d'ailes. Si l'on cherche bien jusqu'au fond du nid, on trouve de petits vers blancs, mous, presque sans mouvement, sans pieds et sans yeux : ce sont des larves. C'est à cet état que les fourmis sortent de l'œuf et grandissent. Quand leur croissance est entièrement terminée, les larves changent de peau, et alors la forme de la fourmi devient évidente, mais elles sont immobiles; ce sont des nymphes. Les formicines avant de passer à l'état de nymphe se filent un cocon tout comparable sauf la taille et la couleur à celui du ver à soie; les myrmicines ne font pas de cocon, elles se métamorphosent sans précaution aucune.

Enfin les nymphes arrivent à leur complet développement, leur peau se détache et il en sort des individus parfaits, les neutres ou ouvrières que vous connaissez déjà et des individus ailés. Ces derniers sont mâles ou femelles. Les ouvrières sont bien aussi des femelles, mais comme celles des abeilles, incapables de pondre un œuf qui se développe, sauf quelques exceptions peut-être. Ce sont, dit Huber, des femelles dont le moral s'est développé aux dépens du physique.

Les femelles ailées sont plus grandes que les ouvrières, plus vigoureuses, mais du reste leur ressemblent beaucoup. Leurs ailes sont au nombre de quatre, ce sont des membranes transparentes soutenues par des nervures solides. L'insecte les porte ordinairement couchées en arrière. Voici une femelle ailée (fig. 71).

Les mâles sont le plus souvent très-petits, leurs formes grêles contrastent avec celles des femelles. En voici un (fig. 72) qui est de la même espèce de myrmica que la femelle et que l'ouvrière que je vous ai déjà montrées.

Fig. 71. — Femelle de myrmicine (d'après une photographie de M. Ch. Lespès).

Fig. 72. — Mâle de myrmicine (d'après une photographie de M. Ch. Lespès).

Voilà les différents membres de la famille, voyons à présent quel est le rôle de chacun.

Les ouvrières méritent bien leur nom, ce sont de vigoureux et infatigables travailleurs, elles seules travaillent du reste, au moins quand la famille est définitivement constituée. Il y a pourtant, dans le midi de la France, une petite espèce chez laquelle les reines travaillent aussi, si je ne me trompe.

D'abord elles construisent et entretiennent la maison, et cela d'une manière différente suivant les espèces. Les unes creusent des terriers souvent très-profonds, ou bien, ne pouvant construire une voûte, profitent d'une pierre plate posée sur le sol et font leurs galeries au-dessous, ce sont les mineuses; d'autres font de grandes constructions de terre que j'ai vues acquérir près d'un mètre de hauteur, ce sont les maçonnes. Vous connaissez les cônes de bûchettes de la fourmi fauve; ce sont des espèces de toitures de chaume qui recouvrent les vraies galeries. Ces cônes sont percés au sommet par un petit nombre d'ouvertures, mais les ouvrières les ferment tous les soirs et aussi chaque fois qu'il pleut, de sorte que l'intérieur de leur maison est toujours bien sec; il ne faudrait pas croire pourtant que toutes les espèces agissent de même. Les anciens ont parlé de fourmis qui

Digitized by Google

travaillent au clair de la lune. Quoi qu'en dise Huber, c'est vrai; une myrmicine que l'on trouve aux bords de la Méditerranée (*Atta barbara*) sort le matin et le soir, au milieu du jour par la forte chaleur, elle fait la sieste. Je l'ai vue travailler au clair de la lune. Beaucoup d'espèces recherchent le vieux bois qu'elles percent en tous sens. Il y en a qui tirent parti des branches mortes de ronce, elles savent que la moelle est d'un travail facile, et que le bois est encore solide, et forme une bonne muraille. Une recherche les toutes petites galles du chêne, celles qui ont à peine le volume d'une noisette. C'est cette petite espèce du Midi dont les reines travaillent, je crois. Ses sociétés se composent d'une soixantaine de membres dont le tiers est formé de reines; vingt reines pour quarante sujets, voilà une singulière république.

Quelques espèces s'occupent à ramasser des graines avec une activité merveilleuse, elles vont quelquefois très-loin les chercher, mais elles se partagent la besogne. Y a-t il sur leur chemin une plante à grandes feuilles ou une pierre qui laisse un espace libre sous elle ou tout autre toiture, elles y établissent un dépôt. Celles qui ramassent les graines les portent ou plutôt les traînent jusque-là; d'autres les prennent en ce point et les portent jusqu'à l'entrée de la maison; une troisième escouade enfin les met dedans, et quelquefois, quand le trajet est long, il y a deux ou trois dépôts successifs sur la route. C'est cette curieuse coutume de ramasser des graines qui leur a donné depuis longtemps la réputation de faire des provisions. Sont-ce réellement des provisions?

La Fontaine assure que oui; mais il ne l'avait pas vu, il a copié Ésope et l'opinion vient de la Grèce. Huber affirme que non et les raisons qu'il en donne semblent excellentes. D'abord les fourmis tombent, quand il fait froid, dans un sommeil léthargique qui ressemble à celui des marmottes des Alpes, et d'un grand nombre d'autres animaux des pays froids. Puis la bouche des fourmis n'est pas faite pour manger des aliments solides.

Examinons en dessous une tête de fourmi, après avoir écarté les pièces qui constituent cette bouche. Ces deux grands crochets placés à droite et à gauche, ce sont les mandibules, leur extrémité est un peu aplatie et garnie d'un nombre de dentelures qui varie beaucoup. Ce sont uniquement des organes de travail; les fourmis ne s'en servent pas pour manger, dit Huber. Les mâchoires et la lèvre inférieure avec ces petits membres que l'on nomme des palpes, sont beaucoup moins durs. Ce sont les organes qui servent à manger ou bien plutôt à boire, car les fourmis boivent leurs aliments; elles lappent comme les chiens, par des mouvements rapides et répétés; ainsi, dit Huber, les graines ne sont pas des provisions, d'autant moins que souvent elles germent.

Eh bien, je crois qu'Ésope a raison et Huber aussi; voici comment : les espèces du Midi qui ramassent des graines, n'existent pas dans le nord de l'Europe; à Paris on ne les trouve pas, et Huber qui observait à Genève n'en parle pas, elles l'auraient frappé pourtant par une foule de caractères. C'est surtout la fourmi fauve, celle qui fait les grands cônes de buchettes qu'il a observée; il lui a vu porter de l'avoine et du blé, comme elle porte tous les fragments végétaux qu'elle trouve, et il a cru avoir affaire à l'espèce des anciens. Voilà l'erreur; la fourmi fauve est un habitant des pays froids ou tempérés, elle n'existe pas sur les rives de la Méditerranée. Ce sont des myrmicines noires et à grosse tête qui, dans le Midi, font des provisions de graines, de blé surtout; je les ai suivies bien souvent dans leur travail, et j'ai trouvé, quelques jours après, un petit tas de son à leur porte, toujours au moins le germe avait été mangé, c'est la partie la plus tendre et la plus sucrée de la graine. Il est vrai que ce n'est qu'une faible fraction des provisions qui a été ainsi consommée et qu'une grande partie reste sans être touchée. Nous savons que les graines en germant produisent du sucre, c'est alors que les fourmis les brisent et les lèchent. Ce sont donc de vraies provisions. Il n'y a pourtant qu'un très-petit nombre d'espèces qui en fassent, la majorité ne ramasse pas ainsi.

Les aliments ordinaires sont liquides et sucrés; les fourmis, vous le savez, sont friandes de sirop. Le suc des fleurs et des jeunes bourgeons, la séve des arbres et quelques autres liquides, voilà ce qu'elles recherchent. Quand une d'elles trouve une goutte de la précieuse boisson, elle se couche à terre pour n'en pas perdre la moindre parcelle, elle lèche le sol, et si la provision est un peu considérable, on voit son abdomen augmenter énormément de volume. Elle ne quitte la place que lorsque sa peau est arrivée à la limite de l'élasticité. Toute cette conduite serait le comble de la gourmandise si le mobile n'en était l'amour fraternel; « la fourmi n'est pas prêteuse », dit la Fontaine; non, elle ne prête pas, elle donne; la voici repue, suivons-la à la maison. Aussitôt arrivée, elle s'adresse à une de ses sœurs, se place en face d'elle, avance les antennes et lui frappe quelques coups légers sur le devant de la tête. Ce que cela veut dire, l'autre n'en doute pas un instant : elle avance à son tour les antennes tout doucement, et les deux faces, les deux bouches sont au contact, il ne s'agit pas pourtant d'une caresse : une gouttelette de liquide apparaît, elle est bue immédiatement. Le partage est commencé, mais il ne s'arrête pas là, tous les membres de famille ont leur part, les larves aussi. La division de la bienheureuse goutte est poussée à l'extrême. Un instant après, quelques ouvrières sortent, elles suivent le sentier qui a été si productif pour leur compagne, et si la provision en vaut la peine, on voit se former une longue procession.

C'est dans un premier estomac que les fourmis portent ainsi les aliments, comme les pigeons portent les graines à leurs petits, et surtout comme les abeilles rapportent le miel à leurs ruches. C'est l'odorat qui leur permet d'aller si loin de leur nid et d'y rentrer par le même chemin qu'elles ont pris pour le quitter. Vous savez combien l'odeur qu'elles exhalent est forte; eh

Digitized by Google

bien, placez pendant un instant la main sur le point où passe une de ces longues files, faites-le avec précaution dans un moment où aucune fourmi n'est là, et attendez un instant : en voici une qui arrive sans se douter de rien, au point où votre main a touché, elle se recule brusquement d'un air effrayé, et le plus souvent elle se sauve au plus vite en arrière. Il en vient une seconde, une troisième, le même manége recommence. Enfin en voici une, moins avisée ou moins peureuse qui traverse, toutes les autres suivent, l'obstacle est vaincu. L'odorat vous le voyez, messieurs, est leur sens le plus subtil.

Ce n'est pas seulement quand elles ont de la nourriture à partager que les fourmis peuvent échanger leurs idées. C'est dans une foule de circonstances, mais leur vocabulaire semble très-simple et, pour quelques idées, il est insuffisant. En voici une preuve.

Les fourmis changent quelquefois de logement : leur nid est trop à l'ombre, ou bien l'humidité l'envahit, ou bien quelque autre cause difficile à découvrir les décide. On voit alors une ouvrière s'approcher d'une de ses compagnes et lui tenir un petit discours, toujours sous forme de légers coups d'antennes sur la tête. Celle-ci pelotonne alors ses pattes, et attend. Sa sœur la prend par les mandibules et l'emporte au point où elle propose de déménager. Si elle avait eu dans son langage de fourmi le moyen de lui expliquer son projet, elle n'aurait pas eu besoin de la porter ainsi. Puis toutes deux reviennent et recommencent pour d'autres; les larves et les nymphes sont portées aussi, et la famille a abandonné son domicile ancien pour un nouveau qui lui convient mieux. Ce qui est plus remarquable, c'est que certaines espèces ont, paraît-il, une langue plus riche; car elles peuvent communiquer à leurs compagnes le projet de déménagement sans les porter dans la nouvelle habitation.

Ce sont aussi les ouvrières qui soignent les larves, et il ne faut pas croire que ce soit un petit travail. Suivant qu'il fait chaud ou froid, sec ou humide, que le soleil luit ou se cache, les larves sont portées du haut en bas de la maison, et toujours avec le plus grand soin. Ces petits vers sont presque sans mouvement, capables tout au plus de boire la nourriture qu'ils reçoivent, et vous verrez même tout à l'heure la preuve que leur intelligence est si peu ouverte qu'ils ne reconnaissent même pas leurs nourrices. Ces soins sont continués aux nymphes, et au moment de la dernière transformation, quand la fourmi éclôt avec la forme et la taille qu'elle doit conserver, les ouvrières l'aident encore à se dépouiller de son enveloppe et, chez les formicines, à déchirer le cocon.

Les mâles et les femelles ailés ne travaillent jamais, bien que, dans certaines espèces, ils restent longtemps dans le nid. Ainsi dans la fourmi perce-bois, la plus grande espèce de France, les individus ailés naissent bien avant l'hiver, et ce n'est qu'au printemps suivant, qu'un beau jour ils se décident à prendre leur vol. Chez la plupart de nos espèces les mâles et les femelles émigrent pendant l'été ou dans les premiers jours de l'automne, par un beau temps calme, ordinairement le lendemain d'une pluie d'orage.

Le plus souvent les diverses sociétés de la même espèce ont l'air de s'entendre et fournissent en même temps leur émigration. On voit alors les ouvrières agrandir l'entrée du nid, et les individus ailés qui ne se montrent pas ordinairement à l'extérieur venir comme pour se chauffer au soleil et monter sur les herbes. Bientôt une femelle ouvre les ailes et s'envole suivie par quelques mâles, puis une autre l'imite, au bout d'une heure presque toutes les femelles et tous les mâles sont partis. C'est ce qui explique comment il se fait que les fourmis ailées apparaissent brusquement en nombre immense, mais pendant un jour ou deux seulement.

Nos insectes volent pendant quelques heures à peine, puis c'est à terre qu'on les trouve, et, le soir, aucun ne reste plus en l'air. Pour les mâles la vie est finie, quelques-uns ne sont pas morts encore, mais les oiseaux insectivores les ont bientôt détruits, ceux qui restent sont languissants, et il n'est pas difficile de voir que leur rôle est terminé.

Quant aux femelles, leur activité commence. Elles cherchent de la terre humide pour se creuser un terrier. Aussitôt qu'elles ont trouvé un point convenable elles détachent leurs ailes. A la base de ces organes il y a une espèce d'articulation en quelque sorte préparée. C'est un point de moindre résistance dont elles savent très-bien profiter. Elles saisissent donc successivement leurs quatre ailes avec leurs pattes, les tordent et les désarticulent. N'est-ce pas un singulier instinct que celui qui enseigne à ces insectes que leurs ailes, nécessaires pendant un jour, ne doivent plus leur servir, que désormais elles sont destinées à vivre sédentaires, à ne plus quitter leur maison? L'opération terminée, elles sont devenues des reines ; pour un petit nombre c'est une véritable royauté : les ouvrières les ont forcées à rentrer presqu'aussitôt après leur sortie, leur ont enlevé les ailes et les gardent dans le nid. Mais le plus grand nombre meurt, quelques-unes seulement trouvent un endroit convenable, creusent un petit terrier et y passent l'hiver. Au printemps suivant elles pondent quelques œufs d'ouvrières, élèvent les larves et se trouvent à la tête d'une famille nouvelle.

Voilà, messieurs, l'histoire bien rapide des sociétés les plus simples, et c'est le plus grand nombre. Mais sur ce fond commun chaque espèce offre un détail, soit dans la forme de son nid, soit dans la nourriture qu'elle recherche, soit dans le nombre d'individus qui constituent une famille ou dans le nombre de reines qui y sont admises.

Il y a en France beaucoup d'espèces dont les familles sont plus compliquées que celles dont je viens de vous entretenir; cette complication présente comme premier

Digitized by Google

degré l'apparition d'une nouvelle forme de neutres que l'on a nommé des soldats.

A en croire la plupart des entomologistes, nous n'aurions qu'une seule espèce possédant cette forme de neutres, il y en a réellement six ou sept; mais leurs soldats diffèrent moins des ouvrières.

Voici comparativement l'ouvrière et le soldat de la myrmice à grosse tête (*Pheidole megacephala*). C'est une

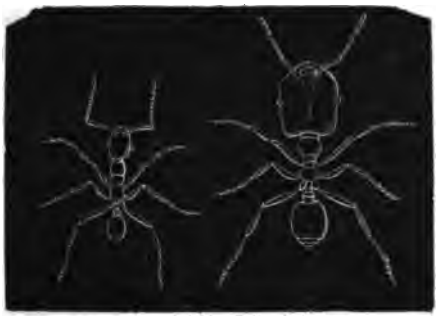


Fig. 73. — Myrmice à grosse tête; la figure de gauche représente le soldat et la figure de droite l'ouvrière (d'après une photographie de M. Ch. Lespès).

très-petite fourmi de couleur jaune clair, qui se trouve dans la partie la plus méridionale de la France et en Italie. Ces deux individus ont été pris dans le même nid et photographiés ensemble, le rapport de leurs deux tailles est donc conservé de la manière la plus exacte. Le soldat est beaucoup plus gros que l'ouvrière, sa tête est encore énorme relativement à sa taille. On croirait à première vue que c'est lui qui est chargé de défendre la famille; il n'en est rien, ses mœurs ne diffèrent nullement de celles des ouvrières : il travaille comme elles, elles se défendent à l'occasion comme lui. Les uns et les autres sont des neutres, et n'ont jamais d'ailes. Il en est de même pour toutes les espèces qui, en France, présentent deux formes distinctes de neutres. On dit que dans les pays chauds les mœurs des soldats sont très-différentes. Il y a en France trois espèces qui ne se contentent pas des neutres nés dans leur société, qui font des esclaves. Ce terme d'esclaves est-il exact? C'est ce que j'examinerai tout à l'heure quand les faits nous seront connus.

Deux de ces espèces sont des formicines, la fourmi sanguine (*F. sanguinea*) et l'amazone (*Polyergus rufescens*); elles s'attaquent toutes les deux aux mêmes espèces : la fourmi gris cendré (*F. fusca*) et la fourmi mineuse (*F. cunicularia*); ces deux espèces et leurs esclaves sont à peu près de la même taille, ni des plus grandes, ni des plus petites. La troisième est une toute petite myrmicine (*Strongylognathus acuminatus*), elle prend ses esclaves chez un insecte de la même tribu; la myrmice des gazons (*M. cæspitum*).

Chacune de ces espèces a ses habitudes. Étudions-les donc l'une après l'autre.

La fourmi sanguine ressemble à la fourmi fauve qui fait dans les bois ces énormes tas de bûchettes et de fragments de paille que vous connaissez tous. Elle a un peu de ces habitudes elle aussi, mais elle choisit les pierres pour faire son nid dessous, et la toiture est souvent négligée. Ses sociétés sont ordinairement très-nombreuses, mais en outre des ouvrières de la vraie famille, il y a presque autant d'étrangères qui appartiennent aux deux espèces que je vous ai déjà nommées; trois espèces vivent donc ensemble dans un même nid. Ces esclaves sont là comme chez eux et leurs maîtres travaillent bravement comme eux. Il règne dans tout cet ensemble une vraie fraternité, et le terme d'esclavage est bien dur pour représenter la position des étrangères dans cette société. Eh bien, dans ses expéditions à la recherche des auxiliaires, la fourmi sanguine déploie une véritable férocité. C'est par petites troupes qu'elle va en course. Quand une bande a trouvé une société à piller elle commence le blocus du nid, quelques fourmis retournent en arrière chercher du renfort, et quand les assaillants se trouvent en force, ils se précipitent brusquement dans le nid dont ils ont fait le siége depuis quelques heures, ils donnent l'assaut, pénètrent dans les galeries, et enlèvent larves et nymphes. Mais le plus souvent la fourmi sanguine ne se borne pas là; après avoir volé les enfants, elle prend la maison si elle est à sa convenance et y transporte son habitation; de sorte que la société attaquée est bel et bien détruite.

La fourmi amazone a des habitudes différentes. C'est une espèce vigoureuse et très-vive, mais son caractère le plus remarquable se trouve dans les mandibules. Ces organes, ainsi que je vous le faisais observer il y a un moment, sont destinés au travail. Ici c'est tout autre chose, au lieu d'une extrémité munie de petites dents, ils ont une seule pointe et sont réduits à de véritables crochets.

Aussi l'amazone ne travaille-t-elle jamais; bien mieux, elle ne sait pas manger seule, ce dont l'organisation de sa bouche ne rend pas compte. Il faut que ses esclaves pourvoient à tous ses besoins, soignent ses larves et la soignent, mangent pour elle et lui donnent la becquée. Peut-on, je vous le demande, se figurer une dépendance pareille de ses domestiques. Huber avait mis dans une petite boîte quelques amazones avec plusieurs larves de leur espèce et de la terre humide; mais les fourmis ne s'occupèrent de rien, elles laissaient les larves sans soins, elles-mêmes souffraient la faim et semblaient devoir mourir, quoiqu'un morceau de sucre mouillé fût tout auprès. Il introduisit alors trois esclaves; en quelques heures tout changea de face : les larves furent nettoyées et mises à l'abri sous un fragment de voûte, les amazones elles-mêmes reçurent leur ration et la nouvelle société put continuer à vivre.

J'ai voulu vérifier encore cette curieuse habitude, en me tenant, le plus possible, dans les conditions normales. Sur une petite pierre, tout près de l'entrée d'un nid, j'ai mis un fragment de sucre mouillé. Un moment après, une ouvrière de fourmi cendrée l'a trouvé et en a bu le plus possible; puis elle est revenue à la maison.

Digitized by Google

D'autres ouvrières ont paru bientôt, et le sucre a trouvé beaucoup d'amateurs. Enfin, les amazones sont arrivées courant de tous côtés d'un air effaré, mais ne mangeant rien ; elles en sont venues bientôt à tirailler leurs esclaves par les pattes, et alors elles ont eu leur part de sirop, mais sans le prendre elles-mêmes.

Que l'on ouvre leur nid ou que l'on soulève la pierre qui le recouvre souvent, on verra les amazones se sauver au plus vite. Seules les esclaves s'occupent à enlever les larves et les cocons. Les neutres d'amazones ne sont donc bons que pour le pillage, ce sont de vrais flibustiers ; on connaît bien leurs habitudes, il n'est pas difficile de les observer, et comme j'ai été bien souvent témoin de leurs expéditions, je puis me borner à vous raconter ce que j'ai vu.

C'est seulement à la fin de l'été et en automne que ces expéditions ont lieu. A cette époque, les individus ailés de la fourmi grise et de la fourmi mineuse ont émigré, les amazones ne veulent pas courir la chance de transporter chez elles des bouches inutiles. Quand le ciel est pur, vers trois ou quatre heures du soir, nos pillards sortent de leur tanière. D'abord aucun ordre ne préside à leurs mouvements ; mais quand toutes sont réunies, elles forment une colonne qui s'élance vivement en avant, et dans une direction différente chaque jour. Les fourmis qui composent cette troupe marchent serrées les unes contre les autres ; celles qui sont au premier rang ont l'air de chercher quelque chose à terre, aussi sont-elles à tout instant dépassées par celles qui viennent derrière, et la tête de la colonne est renouvelée ainsi pendant toute l'expédition. Elles cherchent, en effet, la trace des espèces qu'elles vont piller, et c'est l'odorat qui les guide ; elles quêtent à terre, comme les chiens qui cherchent le gibier, et quand elles trouvent elles s'élancent vivement en avant en entraînant après elles la troupe entière. Les moindres bandes que j'ai vues comprenaient environ trois cents individus, mais je n'exagère pas en portant au quadruple le nombre des plus considérables. Elles forment alors une colonne qui a jusqu'à 5 mètres de long sur 50 centimètres de plus grande largeur.

Après une marche qui dure quelquefois une heure, cette colonne arrive à une fourmilière de gris-cendrées ou de mineuses. La seconde espèce, plus robuste, oppose une résistance acharnée, mais sans grand succès. Bientôt toutes les amazones pénètrent dans le terrier ; une minute après, à peine, elles en ressortent rapidement, et en même temps les fourmis grises sortent aussi en masse. La seule préoccupation, ce sont les larves et les nymphes : les amazones cherchent à les voler, les légitimes propriétaires cherchent à en sauver le plus grand nombre possible. Elles savent fort bien que les amazones ne peuvent grimper. Qui le leur a appris ? l'expérience peut-être, mais elles le savent. Aussi se réfugient-elles sur toutes les herbes du voisinage, en emportant leur précieux fardeau ; elles sauvent ainsi quelques larves. Puis, elles suivent les voleurs, les harcèlent et réussissent encore à leur en enlever quelqu'une. Eh bien ! dans tout ce tumulte, il y a bien peu de coups sérieux donnés de part et d'autre ; rarement une amazone, poursuivie avec acharnement, coupe en deux une fourmi grise.

Voilà nos voleurs qui reviennent chez eux en courant, chacun emportant une larve ou une nymphe. Mais ce n'est pas par le chemin le plus court qu'elles s'en retournent, c'est en suivant exactement tous les détours qu'elles ont suivis en venant. C'est encore l'odorat qui les guide, et point du tout la vue. Arrivées à leur nid, les amazones abandonnent leur butin à leurs esclaves, elles ne s'en occupent plus. Peu de jours après les nymphes ainsi volées éclosent, et les ouvrières qui en sortent ne conservent, paraît-il, aucun souvenir de leur première enfance, car elles prennent immédiatement et sans y être forcées leur rôle de travailleur.

Pierre Huber, qui le premier a étudié les mœurs de cette espèce, se demande comment de nouvelles colonies peuvent se former. On comprend, en effet, qu'il y a une première période pendant laquelle la famille n'est constituée que par une reine et quelques neutres ; même il y a un moment où cette reine est seule. La femelle de l'amazone est très-difficile à trouver, bien peu de personnes l'ont vue ; elle est un peu plus grosse que le neutre, et, comme lui, d'un roux jaunâtre ; par contre, le mâle est tout noir. Cette femelle, tout au contraire de celle des autres espèces, est beaucoup moins paresseuse que l'ouvrière ; je suis sûr, au moins, qu'elle mange seule ; elle peut donc vivre sans esclaves, et la fondation de colonies nouvelles devient aussi facile à comprendre pour l'amazone que pour les autres fourmis, par la constatation de ce tout petit fait.

La troisième espèce, dont j'ai à vous entretenir, est très-petite, et n'a été trouvée jusqu'ici que dans très-peu de localités. Elle constitue, à elle seule, le genre *Strongylognathus*. Je vous ai déjà fait observer que c'est une myrmicine, et que c'est une autre myrmicine qui lui fournit des serviteurs.

Comme l'amazone, elle a des mandibules, étroites et aiguës, fort avancées et qui lui interdisent le travail ; aussi ne travaille-t-elle pas. Mais elle est moins paresseuse que l'amazone ; elle mange sans le secours de personne, un peu à contre-cœur, c'est vrai ; elle préfère de beaucoup se faire servir, mais quand ses esclaves se montrent récalcitrants elle en prend son parti, et ne se laisse pas mourir de faim devant un bon repas, comme le ferait l'amazone. La manière dont elle s'y prend pour se faire donner la becquée par ses esclaves est très-curieuse : ses longues mandibules et celles passablement longues aussi de ses serviteurs ne permettraient jamais aux deux bouches de venir au contact. Que fait-elle donc pour vaincre cette disposition gênante ? Elle prend son serviteur tout doucement et le couche sur le dos, la

Digitized by Google

difficulté est alors vaincue, et les deux bouches peuvent venir au contact.

On ne sait pas comment cette espèce se procure de nouveaux esclaves; probablement, comme les autres, elle les prend à l'état de larves. Je ne serais pas surpris que ses expéditions fussent nocturnes, car elle ne sort jamais au soleil.

Voilà, messieurs, ce que l'on sait sur les trois fourmis de notre pays, qui s'adjoignent des auxiliaires, ou des esclaves, si vous voulez. Mais l'expression d'esclave me semble peu juste. Ces insectes, en effet, ne jouent pas un autre rôle chez leurs ravisseurs que celui qu'ils auraient joué dans les sociétés de leur propre espèce, et jamais personne n'a été témoin du moindre mauvais traitement qui leur serait infligé. Il n'y a pas plus là un esclavage comparable à celui de l'homme, qu'il n'y a dans la constitution des sociétés ordinaires de fourmis quelque chose qui ressemble à une république.

Huber a vu une société d'amazones changer de maison. C'étaient, paraît-il, les amazones elles-mêmes qui avaient décidé le changement, car elles sont venues prendre leurs auxiliaires et les ont portées dans le point où elles voulaient émigrer. Vous figurez-vous des blancs portant ainsi leurs esclaves noirs? Je ne pense pas que jamais on en ait vu.

Remarquez aussi que, dans ces trois espèces, les auxiliaires jouent un rôle différent. La fourmi sanguine n'en a qu'un besoin relatif, elle travaille et soigne elle-même ses larves; aussi peut-on observer quelquefois des sociétés de cette espèce qui n'ont aucun aide étranger et jamais n'en ont-elles qu'un nombre assez restreint.

Le *Strongylognathus*, qui ne travaille pas, a besoin d'auxiliaires. Il pourrait, à la rigueur, s'en passer puisqu'il sait manger seul, et pourtant il en a toujours et en nombre énorme: au moins dix fois autant que de maîtres dans chaque société.

Quant à l'amazone, elle ne saurait vivre sans auxiliaires; elle mourrait de faim, à moins que sa mère ne lui donnât à manger; mais ceci n'est possible que dans la première période de l'existence des familles. Aussi quelques personnes, voulant comme toujours comparer les animaux à l'homme, ont prétendu que ses sociétés ne se composent que de soldats. Hypothèse gratuite, que rien ne soutient, et dont plusieurs caractères démontrent l'inexactitude.

Il semblerait, à présent, que nous sommes arrivés à l'extrême des complications; il n'en est rien. Une société de fourmis renferme souvent beaucoup d'insectes qu'au premier abord on prendrait pour des étrangers; ils sont pourtant de la famille, mais chacun d'une manière différente. Les uns sont utiles à la société, et plusieurs sont de vrais animaux domestiques plus dépendants de leurs maîtres qu'aucune espèce, sans en excepter le chien, ne l'est de l'homme; d'autres sont des parasites attirés par l'abri ou par la nourriture; il en est, enfin, qui sont des ennemis. Malheureusement sur plus de trois cents espèces qui vivent ainsi en relations avec les fourmis, il n'y en a qu'un très-petit nombre dont les mœurs soient connues. Ce n'est pas que les amateurs d'insectes ne leur fassent une chasse assidue; mais à peine en ont-ils pris un qu'ils le tuent, lui passent une épingle au travers du corps ou le collent sur un bout de carte, l'affublent d'un grand nom qui ne veut souvent rien dire et le laissent dormir dans leur collection. Il y en a bien quelques-uns qui risquent de perdre un échantillon rare pour faire une observation de mœurs, mais ils sont bien peu nombreux. Il faut avouer aussi que ces observations offrent des difficultés extrêmes, que ceux-là seuls connaissent qui ont tenté d'en faire. Puis, il y a bien une autre difficulté: c'est de ne pas se laisser aller à son imagination, et de ne voir que ce qui est réellement.

Voyons donc quels sont les insectes utiles aux fourmis. Je commence par les plus anciennement connus, les pucerons.

Réaumur et Huber paraissent être les premiers qui aient bien vu les rapports des fourmis avec les pucerons. Ces derniers sont de petits insectes très-peu gracieux, lents dans leurs mouvements, mais dont l'histoire n'est pas sans un grand intérêt. Ils vivent sur les végétaux et peu de plantes en sont à l'abri, souvent même plusieurs espèces s'attaquent à un même végétal. C'est sur les parties tendres et nouvellement formées qu'ils se trouvent, les uns sur les branches ou les feuilles, d'autres sur la tige et plusieurs sur les racines. Ordinairement ils ne quittent pas le point où ils sont nés; de temps en temps ils piquent la plante avec un long tube qui leur sert de trompe et pompent ainsi sa séve; c'est là toute leur nourriture. A l'extrémité de leur gros abdomen, il y a deux poils; ce sont encore des tubes, mais bien ténus. Si l'on examine un puceron avec soin et si l'on touche ces poils, on voit apparaître de temps en temps une gouttelette liquide à leur extrémité. C'est ce liquide qu'aiment les fourmis, et elles ne sont pas les seuls insectes qui partagent ce goût; les abeilles, les guêpes, les mouches et beaucoup d'autres sont du même avis. Aussi, à l'automne, voit-on souvent des arbres, surtout des saules, couverts de pucerons et entourés d'un immense essaim d'insectes qui viennent chercher leur part de la liqueur miellée.

Les fourmis seules savent pourtant tirer des pucerons tout le parti possible. Elles les soignent avec des précautions extrêmes; souvent elles recouvrent d'une sorte de toiture de terre ou de bois le point sur lequel ils vivent; il en est qui mettent à nu une racine pour faire place à leurs amis; elles les transportent aussi à l'endroit le plus convenable et toujours avec des mouvements d'une douceur extrême. Quand elles veulent obtenir une goutte de liqueur, elles les caressent de leurs antennes avec des précautions inimaginables; c'est aussi qu'elles en demandent trop, car si elles sont bonnes et soigneuses elles sont exigeantes, et jamais elles n'ont assez.

Digitized by Google

Les cochenilles donnent, comme les pucerons, un liquide sucré, et les fourmis le savent bien. Les orangers cultivés en pots se couvrent souvent de cochenilles ; ce sont des insectes si plats et si peu élégants qu'on les prendrait facilement pour des parcelles de son. Le liquide sucré qu'elles fournissent tache les feuilles, les rend gluantes; la poussière qui vole dans l'air s'y attache, elles deviennent noires, et la plante souffre beaucoup de cet état de choses. En même temps arrivent les fourmis; on les accuse d'un mal dont elles profitent tout au plus, et l'on se donne beaucoup de peine pour les chasser. C'était aux cochenilles qu'il fallait s'adresser.

L'histoire des rapports de nos insectes avec les pucerons est moins surprenante que celle de leurs rapports avec les clavigers. Ce sont de petits coléoptères d'un aspect très-singulier et tout à fait exceptionnel. En voici un (fig. 74).

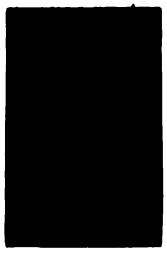


Fig. 74. — Claviger (d'après une photographie de M. Ch. Lespès).

Fig. 75. — Loméchuse (d'après une photographie de M. Ch. Lespès).

La tête, vous le voyez, messieurs, est très-étroite, et porte en avant deux antennes énormes, mais formées d'un petit nombre d'articulations; le corselet est aussi très-étroit; les ailes ou élytres sont courtes et portent en dehors un pinceau de poils, qui se mêlent avec d'autres poils du bord de l'abdomen. Ajoutez, enfin, pour rendre ces insectes plus singuliers, qu'ils n'ont aucune trace d'yeux. Leurs mouvements sont lents et leur petite bouche ne peut admettre qu'une nourriture liquide. On connaît quatre ou cinq espèces de ces curieux insectes; ils diffèrent surtout par la forme des antennes; leur taille est d'environ 2 millimètres, leur couleur d'un roux uniforme; tous vivent avec des fourmis, mais chaque espèce avec une ou tout au plus deux espèces de fourmis.

Un grand physiologiste, Müller (de Berlin), a, le premier, observé les clavigers. J'ai été assez heureux pour vérifier l'exactitude de ses observations. Les poils des élytres sont évidemment la partie importante pour les fourmis; elles les lèchent, les pressent doucement dans leurs grandes mandibules, en un mot, en retirent tout le suc, auquel elles paraissent trouver une saveur délicieuse. Il ne doit pourtant pas y en avoir beaucoup, car c'est inutilement que j'ai cherché à le voir. Jusqu'ici il n'y a guère que ce que présentent les pucerons; mais ce n'est point tout : les clavigers ne savent pas manger, il faut que les fourmis leur donnent la nourriture de la bouche à la bouche, exactement de la même manière qu'elles se donnent la becquée entre elles. Une fourmi vient de manger; elle rencontre un claviger face à face; immédiatement commence un colloque de petits coups d'antennes, la fourmi ouvre la bouche et le claviger boit sur sa lèvre une goutte; mais immédiatement après les bienheureux poils payent la dette de la reconnaissance. Voilà, si je ne me trompe, un animal domestique singulièrement choyé.

On ne sait rien jusqu'ici des larves et des nymphes de clavigers; c'est inutilement que j'ai cherché à les voir, j'en ai conservé pendant plus d'un an avec des fourmis dans un grand bocal plein de terre. Peine perdue, les larves ne sont pas venues.

Il y a beaucoup d'autres insectes aveugles qui vivent avec diverses espèces de fourmis, mais leurs mœurs n'ont pas été observées.

Voici à présent un autre ami de nos insectes, c'est une loméchuse (fig. 75). Ainsi que vous le voyez, la loméchuse est un de ces coléoptères à élytres courtes que l'on nomme des staphylins. Celui-ci est relativement de grande taille, environ 5 millimètres. Sous les élytres il a des ailes dont il sait fort bien se servir. C'est dire qu'il a aussi des yeux. Sur l'abdomen, à droite et à gauche, il porte des bouquets de poils comparables à ceux des clavigers, et recherchés des fourmis au même titre. Sa grande taille doit en faire un animal domestique de premier ordre, mais il est indocile et vagabond; son abdomen est très-mobile, et le plus souvent il le porte redressé, presque plié en deux; les poils sont alors à couvert et les fourmis n'en ont même pas la vue. Puis il ne reste pas toujours dans le nid, il en sort, il vole au loin. Pourtant il a encore plus de besoin des fourmis que ces dernières n'ont besoin de lui. Il ne sait pas manger seul; les fourmis le nourrissent de la bouche à la bouche; quand il veut manger, il faut donc qu'il rentre chez elles.

Permettez-moi de vous faire observer, messieurs, combien c'est un fait répandu dans le monde des fourmis, que cette paresse ou cette ignorance qui empêche un animal de manger seul. L'amazone ouvrière ne sait pas manger, les clavigers ne peuvent ou ne savent manger, les loméchuses qui sont de grands insectes qui volent, qui ont tout l'air de devoir vivre d'une vie indépendante, ne savent pas manger. Je les ai vues s'approcher d'une fourmi et lui adresser avec les antennes leur demande ordinaire, à laquelle la fourmi faisait droit quelquefois. Le repas terminé, la loméchuse, en animal bien appris, étendait l'abdomen pour rendre à sa bienfaitrice son bon procédé. C'est l'espèce que je vous ai montrée et la fourmi fauve que j'ai pu observer. Il y a probablement encore bien des faits curieux et inattendus à constater dans les rapports des fourmis avec un grand nombre d'espèces d'insectes; mais, passons à ceux que d'autres mobiles attirent.

Digitized by Google

Il y en a qui méritent le titre de parasites, ce sont des voleurs que les maîtres de la maison tolèrent quelquefois, et d'autres qu'ils ne peuvent chasser.

Voici une toute petite espèce de coléoptère qui a un peu plus d'un millimètre de long, c'est un *monotoma*. Il vit en grand nombre dans les cônes de bûchettes de la fourmi fauve. On en trouve souvent plusieurs centaines dans un seul nid, il mange les bûchettes, mais sa petite taille le rend peu redoutable. Il y a beaucoup d'autres espèces du même genre, elles vivent toutes de vieux bois. Celui des fourmilières ne ment donc pas aux instincts de ses frères.

Plusieurs espèces de gribouris sont aussi parasites des fourmis, mais à l'état de larve seulement; à l'état parfait, ils vivent sur les fleurs. Ce sont des insectes de forme ramassée, mais leurs couleurs sont souvent fort belles. La femelle laisse tomber ses œufs dans une fourmilière du haut de l'arbuste sur lequel elle est posée, mais elle les enveloppe d'abord de ses excréments. La larve conserve ces habitudes sordides, avec les mêmes matériaux elle forme une coque qui ressemble à un dé à coudre. En voici une, celle qu'habitait la larve de l'insecte que je viens de vous montrer. Elle n'en sort pas, et l'ouverture est bouchée pas sa tête, seule partie dure de tout son individu. Elle vit de vieux bois, de feuilles mortes et d'autres débris végétaux qu'elle trouve en abondance dans les nids de la fourmi fauve. Mais il y a beaucoup d'autres espèces qui ne recherchent pas les fourmilières. Après trois ans environ de cette vie souterraine, elle ferme l'ouverture de son fourreau, toujours avec les mêmes matières et se transforme d'abord en nymphe, puis en insecte parfait qui rompt la coque et sort de la fourmilière pour vivre pendant quelques jours sur les fleurs.

Enfin, il y a des insectes qui font la chasse aux fourmis :

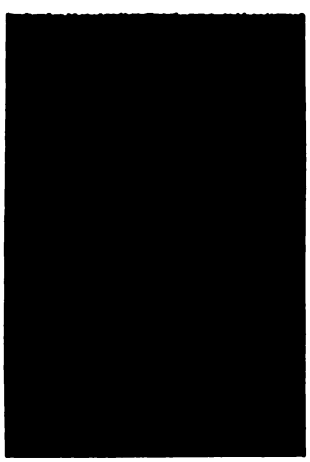


Fig. 76. — Myrmedonia (d'après une photographie de M. Ch. Lespès).

les *Myrmedonia* (fig. 76) sont du nombre. Ce sont encore des staphylins, mais ils n'ont pas de bouquets de poils comme les loméchuses. Ils vivent près des fourmilières, mais ils n'y pénètrent qu'en hiver, quand les maîtres de la maison sont engourdis par le froid. Ils seraient en temps ordinaire bientôt mis en pièces. Ils se tiennent en général près des chemins par lesquels passent les fourmis, et quand une d'elles vient à proximité, ils lui coupent d'un coup de dent le pétiole de l'abdomen. La malheureuse court encore, mais bientôt elle meurt. Cet abdomen, qui renferme les principaux viscères et particulièrement le jabot plein de liquide sucré, c'est tout ce que mange le staphylin.

Voilà, messieurs, bien abrégée et bien décolorée, l'histoire de nos fourmis. Plusieurs parties en sont curieuses et inattendues, mais malheureusement les lacunes sont nombreuses et l'observation est si difficile que nous sommes loin de les remplir. Ce qui me semble surtout remarquable dans cette histoire, c'est que chaque espèce brode sur le fond commun et qu'il n'en est pas deux, pour si semblables qu'elles paraissent au premier aspect, dont les mœurs soient identiques. Il y aurait un volume à écrire sur elles, et la vie d'un homme ne suffirait pas à les observer.

Ch. Lespès,
Professeur à la Faculté des sciences de Marseille.

MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE.

ZOOLOGIE
(Annélides, Mollusques, Zoophytes).

COURS DE M. LACAZE-DUTHIERS.

I

Des erreurs auxquelles conduisent les déductions à priori en histoire naturelle.

« Nos erreurs dérivent de notre trop grande précipitation à généraliser et de notre ardeur à tout réduire en principes. »
(Destutt de Tracy.)

Le cours de cette année fera suite à celui de l'année dernière. Chargé définitivement depuis cette époque de la chaire qu'il n'occupait précédemment qu'à titre de suppléant, M. Lacaze-Duthiers croit qu'il importe de faire connaître dès l'abord comment il entend conduire son enseignement.

Le professeur a, l'an dernier, étudié les modifications introduites dans la classification par suite de l'impulsion nouvelle donnée à la zoologie par la méthode vraie d'observation qu'il a indiquée; ainsi nous avons pu comparer le règne animal tel qu'on le comprenait en 1830, au règne animal tel qu'il fallait l'envisager en 1865. Il continuera, cette année, ce parallèle pour les animaux qui doivent faire l'objet de ces leçons. Parmi les êtres dont l'étude appartient à cette chaire, M. Lacaze-Duthiers a d'abord fait l'histoire de ceux que l'on considérait comme étant plus inférieurs, et leur examen successif lui a permis de remonter jusqu'aux Échinodermes : là il s'est arrêté. Suivant encore cette marche en quelque sorte ascendante, c'est l'étude de ce groupe et celle des Helminthes qui seront l'objet du cours que nous commençons aujourd'hui.

Pour tous les naturalistes, les Helminthes ne sont plus au-

Digitized by Google

jourd'hui des Zoophytes ; des études plus approfondies les ont éloignés de cet embranchement où Cuvier les avait placés. Les Échinodermes, au contraire, y sont restés. Échinodermes et Helminthes sont donc, même au point de vue de la classification, des animaux fort distincts ; leurs différences sont nombreuses et considérables, et ainsi ces deux groupes si éloignés par leur organisation et leur position zoologique, établissent, dans ces leçons, deux parties bien tranchées. La deuxième partie du cours, celle qui aura pour objet l'étude des Helminthes, sera annoncée particulièrement ; par son but un peu spécial, ses applications plus immédiates, elle pourra en effet présenter peut-être un plus grand intérêt à certaines personnes à qui la connaissance des Vers parasites convient spécialement.

M. Lacaze-Duthiers a pensé que pour rendre l'enseignement plus utile, il serait peut-être possible d'établir ici ce qui est institué ailleurs dans le même but. Dans les Facultés des lettres, par exemple, la plupart des professeurs, scindant leur enseignement, font alterner ce que l'on appelle la *grande* et la *petite leçon*. Que faut-il entendre par ces désignations?

Dans la grande leçon, les idées générales sont développées, le professeur s'occupe de l'ensemble de son sujet, sans s'inquiéter des détails qui s'y rapportent; ces détails sont reportés à la petite leçon, où ils sont librement exposés, d'ordinaire, devant un auditoire moins nombreux. D'autres fois encore, le professeur développe dans cette petite leçon une autre série d'idées, qui s'accorde néanmoins avec le sujet de la grande leçon et le complète.

C'est ainsi qu'était récemment disposé un cours de philosophie : un jour on y développait les rapports qui unissent l'âme et le corps, et l'autre jour, le professeur expliquait le traité de l'Ame, le Περὶ ψυχῆς d'Aristote. On ne peut guère contester l'utilité d'une telle disposition.

Ne pourrait-on pas faire de même ici, en modifiant toutefois l'application de cette idée, comme l'exige l'enseignement scientifique? Le professeur croit pouvoir répondre affirmativement, mais en même temps il entrevoit de grandes difficultés pour la mise en pratique de ce projet, et c'est en raison de ces difficultés qu'il demande l'indulgence pour l'application de ce qu'il ne veut considérer que comme une tentative.

En effet, il est possible, dans l'enseignement des lettres, de mener de front et de faire alterner deux sujets différents, quoique se rapportant au même ordre de considérations. Ici cela est de toute impossibilité. Mais supposons données les idées générales sur les Échinodermes, supposons connus les traits principaux de leur organisation et de leur histoire ; arrivent des idées secondaires, des détails plus minutieux. Ne serait-il pas bon de renvoyer à une leçon spéciale ces détails et ces démonstrations nécessaires si l'on veut un enseignement complet, mais qui pourraient sembler inutiles à certaines personnes? Ces considérations minutieuses secouraient peut-être des pavots sur l'auditoire; or, pour être professeur on n'en est pas moins homme, et c'est pourquoi on se laisse quelquefois aller à éviter ce qui peut faire déserter le cours.

Telles sont les raisons qui ont porté M. Lacaze-Duthiers à tenter l'application au Muséum de ce qui se fait ailleurs. Dans la petite leçon, les détails seront donnés seulement aux personnes plus désireuses que d'autres d'approfondir le sujet qui occupera. Ainsi l'enseignement sera complété sans que les détails puissent fatiguer l'auditoire.

Peut-être se présentera-t-il encore ici une difficulté, lorsqu'à une leçon générale se rapportera un trop grand nombre de faits de détail. Cependant le professeur pense qu'il peut être utile de tenter la mise en pratique de ce projet, qui présentera des avantages certains, si l'on adjoint, à l'étude des détails de l'organisation et des caractères spécifiques, des démonstrations pratiques. Cette petite leçon nous permettra, par exemple, quand nous en serons arrivés aux Helminthes, de parcourir les riches collections du Muséum, d'ouvrir les bocaux et de constater sur les individus eux-mêmes les caractères d'organisation qui les distinguent et sur lesquels on a basé leur classification; les abattoirs nous fourniront des parasites vivant encore dans les organes des animaux domestiques; ces travaux pratiques, ces véritables manipulations conduiront à une connaissance des Helminthes plus réelle que ne le pourrait faire le seul enseignement oral.

Le professeur pense que ce n'est pas cependant employer une formule banale que de demander indulgence pour cet aménagement qui présentera dans son application des difficultés réelles, et peut-être des défectuosités regrettables, mais que les efforts d'un premier essai et le désir d'être utile feront certainement excuser.

Ces leçons pratiques, consacrées à la démonstration des caractères sur les animaux mêmes, et aux détails de leur organisation, auront lieu le mercredi et seront toujours annoncées d'avance.

Qu'il soit permis de présenter encore une remarque dans ces observations se rapportant à la distribution matérielle de l'enseignement. Pour beaucoup de personnes le professorat et, il faut bien le dire, surtout le professorat au Muséum, est considéré comme une sinécure. Que l'on veuille bien cependant réfléchir et calculer un peu. Le programme du cours complet de la chaire est l'histoire des *Zoophytes*, *Annélides*, *Mollusques*. L'an dernier, nous avons étudié les Zoophytes : mais combien de choses ont dû être omises! Sur combien de détails importants a-t-il fallu passer brièvement! Combien de leçons enfin n'ont été que de trop courts résumés! Il n'a été fait que deux leçons sur les Syphonophores, une sur les Rhizopodes, une sur les Infusoires, ce groupe considérable qui donnerait lieu à lui seul à des développements d'un si grand intérêt. Évidemment l'enseignement a dû être tronqué en quelques points ; l'étude de ces animaux n'a pu être complète: elle exigerait au moins deux ans. Pour les Mollusques, trois années sont nécessaires, et l'histoire des Annélides veut au moins une année. Ce n'est donc qu'en six ans que le professeur peut espérer d'avoir fait l'étude de trois classes d'animaux qui rentrent dans le programme de son enseignement. Par conséquent, pour répéter quatre fois la même leçon il lui faudra vingt-quatre années. Et si l'on considère combien rapide est la marche de la science, et qu'il sera sans doute impossible de répéter dans six ans la leçon telle qu'on la ferait aujourd'hui, on en conclura forcément que le professorat n'est pas une sinécure.

Mais on pourrait à cela répondre par une objection. Si nous entrons dans des détails minutieux d'organisation, si nous joignons encore à l'enseignement des démonstrations sur les animaux eux-mêmes, ces démonstrations et ces détails ne seront-ils pas déplacés, vu le grand ensemble que nous avons à étudier? et d'un autre côté, n'est-ce pas accorder un trop

Digitized by Google

grand nombre de leçons à chaque partie de notre programme? — Il ne faut pas oublier que l'enseignement supérieur exige que l'on s'arrête et que l'on approfondisse, et nous pouvons répéter ici une parole de M. le ministre de l'instruction publique : « Le Muséum et le collége de France font la science, les Facultés la donnent. » Aux deux premiers établissements il appartient de faire progresser les connaissances humaines sur chaque partie des sciences, aux Facultés revient le soin de l'enseignement préparatoire aux grades universitaires. Or, c'est au Muséum seulement que l'on peut et que l'on doit faire l'histoire naturelle aussi complète que possible : il est donc nécessaire d'entrer dans les détails qu'exige l'état actuel de la science, et pour le faire convenablement en ce qui nous concerne, il n'est pas trop de six années.

Telles sont les observations préliminaires que nous devions présenter touchant l'aménagement matériel du cours.

Voyons maintenant quelles tendances nous guideront, quelle direction nous désirons donner à nos études.

L'an dernier déjà, dans sa première leçon, le professeur a exposé comment il entendait l'étude et l'enseignement des sciences naturelles et de la zoologie en particulier. Sans l'embryogénie et l'anatomie, la zoologie ne peut faire un pas. La connaissance d'un être est intimement liée à la connaissance de son développement, et l'on pourrait dire à ce propos ce que l'on disait dans d'autres temps de la philosophie par rapport à la théologie : *Embryologia ancilla zoologiæ*. Prenant la question à un autre point de vue, le professeur veut prouver aujourd'hui que *conclure ce qui doit être de ce qui est à un moment donné de l'existence d'un être, est souvent le moyen le plus direct d'arriver à l'erreur*. En second lieu, que *conclure de l'un à l'autre pour des êtres éloignés, conduit également à l'erreur*.

Ceci ramène à la méthode zoologique qui exige, pour que la connaissance d'un être soit complète, que l'on ait recours à l'anatomie, à l'embryologie et à la biologie, en l'étudiant dans son organisation, dans son développement et dans ses mœurs.

Les déductions à priori sont toujours dangereuses, si elles ne sont contrôlées par la méthode expérimentale à posteriori. C'est ce que des exemples, mieux que des raisonnements, démontreront sans peine.

Voici une Fungie; ce polypier doit son nom à sa ressemblance avec certains champignons qui, comme l'agaric, présentent des cloisons rayonnantes. Un examen même peu attentif nous montre un certain nombre de lames qui, partant de la circonférence, convergent vers le centre; les unes plus grandes atteignent ce point central, d'autres s'arrêtent en route à des distances variables. Ainsi sont établis plusieurs cercles de lames de même grandeur inégaux entre eux.

De cet examen on conclura nécessairement, si l'on s'appuie sur les données générales de l'observation, que les lames semblables sont de même âge, que les lames les plus grandes sont les plus âgées, en un mot, que la position, la grandeur et l'âge s'indiquent les uns les autres.

Dans cet exemple nous avons un fait qui, comme tout fait, a sa valeur : c'est à nous de l'interpréter. Or, l'interprétation si naturelle que nous avons indiquée au fait observé à un moment donné de la vie de l'animal a servi de base à la classification de cette classe de polypier. A-t-on eu tort d'agir ainsi? Certes non. Mais cette interprétation est-elle exacte? A cette deuxième question nous ne pouvons répondre que par un autre exemple.

Si nous examinons une jeune Actinie, soit une *Sagartia*, soit un *Bunodes*, ou bien un polype de l'*Astroides calycularis*, la pierre étoilée des anciens auteurs, nous trouvons à un moment de leur existence douze tentacules; de ces douze tentacules, six sont plus grands, et d'ordinaire se tiennent dressés; six autres, alternant avec les six premiers, sont plus petits et baissés. Voici un fait; l'interprétation vient naturellement à l'esprit, à savoir, que, la grandeur donnant le rapport de l'âge, les six grands tentacules sont les plus âgés et sont nés ensemble, que les six plus petits au contraire sont d'une même formation, postérieure à la première. Quoi de plus naturel que cette conclusion? Quoi de plus légitime? C'est ainsi que nous avons agi pour la Fungie. Nous avons conclu ce qui doit être de ce qui est à un moment donné de l'existence de l'animal.

Or, dans ces deux cas, dans la Fungie et dans l'Actinie, notre interprétation est-elle démontrée par l'observation? C'est ce que nous allons maintenant rechercher.

Une conséquence première que l'esprit déduit de l'observation de ces animaux et des notions préconçues de grandeur, de position et d'âge, c'est que si des éléments nouveaux viennent à naître, ils se placeront alternativement et régulièrement dans les espaces laissés entre chacun des éléments ou organes préexistants; de sorte que l'on aurait successivement six, puis douze, puis vingt-quatre tentacules, chaque nouvelle formation devant occuper tous les espaces laissés libres par les tentacules ou les cloisons des formations antérieures.

Le professeur a enseigné cette théorie après tant d'autres, elle est si naturelle, qu'on devait l'accepter presque sans examen. Cependant c'était une erreur. Nous pouvons aujourd'hui affirmer que dans l'Actinie le nombre douze, ou plutôt le total deux fois six, n'est pas primitif.

Rappelons, pour démontrer cette proposition, l'embryogénie des Actinies que nous avons exposée l'an dernier.

Nous avons vu d'abord combien il est difficile d'observer ici le fractionnement; l'œuf devient embryon sans que l'on puisse saisir le moment où il se segmente. Certes, les recherches multiples entreprises sans succès dans le but de voir cette segmentation de l'œuf, autoriseraient presque à en nier l'existence; cependant des circonstances diverses pouvant la cacher, il n'est pas permis d'affirmer son absence; la difficulté doit, au contraire, redoubler le zèle des observateurs. Ainsi Linné cherchait la méthode naturelle, «*dum viœro*», disait-il. C'est de la même façon, sans relâche et sans découragement, que le professeur cherchera ce point du développement de l'Actinie qu'il n'a pas encore pu observer.

Dans cette période dont nous savons fort peu de chose, on le voit, l'embryon se prépare.

Une fois qu'il est formé, le nombre douze ou deux fois six est-il primitif? Se forme-t-il d'emblée, ou par deux apparitions régulières de six tentacules? — Non.

Alors qu'il est ovoïde, on le voit se partager en deux moitiés inégales, par deux pincements qui de la circonférence s'enfoncent vers le centre. La plus grande masse résultant de ce pincement primitif va, à son tour, se partager en deux, par la formation de deux replis opposés, à la manière du premier étranglement. Ainsi nous arrivons au nombre quatre pour les parties formées. La petite masse se divisant de même, nous aurons bientôt le nombre six, et ainsi de suite nous arriverons au nombre huit, et enfin douze, des parties nouvelles s'ajoutant successivement aux parties formées par le même mode

Digitized by Google

de pincement de la masse primitive. Dans ces formations le nombre dix ne s'observe qu'exceptionnellement.

Ce n'est donc pas primitivement que dans l'Actinie s'est formé le nombre douze, mais par des passages successifs, par apparition lente de deux, puis six, puis huit, et enfin douze éléments. Donc les six grands tentacules ne sont pas nés en même temps, donc les six autres plus petits ne sont pas apparus plus tard tous ensemble, comme nous l'avions conclu à priori. Le fait existant, l'interprétation que nous en avions donnée était fausse.

Le nombre douze des parties étant formé, elles vont se régulariser. Alternativement un tentacule sera plus grand, un autre plus petit : ainsi seront formées ces deux séries dont la régularité nous avait conduit à l'erreur. Deux lois président donc au développement embryogénique de l'Actinie : la production des parties d'une part, leur régularisation de l'autre.

Lorsque les douze parties sont formées, arrive le moment de l'apparition des tentacules. De l'autre côté, dans l'intérieur de l'animal, un travail analogue s'est opéré : douze replis radiés sont nés successivement, dans le même ordre que les tentacules.

En résumé, ces recherches embryogéniques nous ont montré le mode d'apparition des douze parties qui constituent primitivement l'Actinie, la formation successive de ses douze tentacules ; enfin la régularisation de toutes ces parties. Alors le jeune polype est formé. Nous nous étions donc trompés en affirmant que la grandeur et la position donnent l'âge des éléments : la réciproque de cette conclusion est également vraie.

Revenons maintenant à la Fungie qui nous a servi de point de départ. Chez elle, comme dans la Dendrophyllie, l'Astrée et tous les polypiers de cette classe, les choses se passent-elles de même, ou bien, dans ces lames inégales qui rayonnent

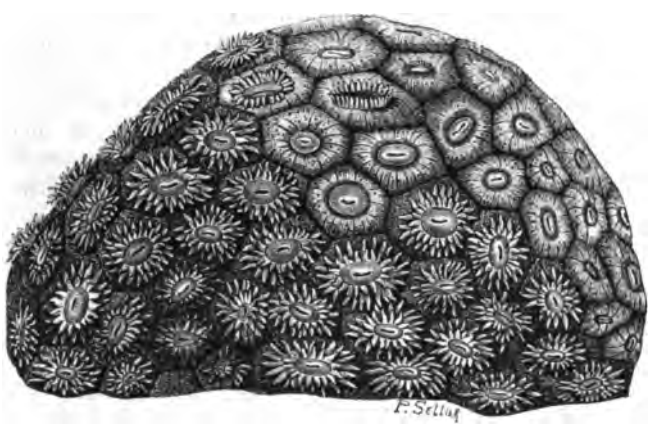


FIG. 77. — Astrée (la pierre étoilée des anciens) montrant les polypes couvrant les calices des polypiers (extrait du *Monde de la mer* par Alfred Frédoll).

dans ces calices calcaires, l'âge est-il indiqué par la grandeur et la position ?

On se représentera facilement l'organisation de ces êtres, en supposant chacun de ces calices coiffés par une Actinie (fig. 77). C'est là l'idée que l'on doit se faire de la disposition du polype de ces polypiers. Les rapports des lames molles de l'animal et des lames dures du polypier sont inverses : dans chaque stalle formée par deux replis charnus du polype, fait saillie une lame calcaire, et le plancher de cette cavité générale est soulevé par autant de crêtes qu'il y a de lames calcaires dans le polypier et de stalles rayonnantes dans cette chambre qui constitue l'ensemble organique de l'animal. Un tentacule correspond forcément à une loge au fond de laquelle fait saillie une lame du polypier : ces trois choses, tentacule, loge, lame calcaire, s'enchaînent et s'appellent nécessairement l'un l'autre dans l'organisation des Actiniens à polypiers. Dès lors, le doute sur l'interprétation à priori n'est-il pas ici bien naturel, maintenant que nous l'avons vue en contradiction avec l'observation des faits dans les Actinies ? N'est-on pas, en ce qui concerne la Fungie, tenté de croire que, pas plus pour le polypier que pour le polype, grandeur et position des parties n'indiquent l'âge ?

Poussons maintenant nos recherches plus loin : le développement de l'Actinie ne s'arrête pas à la formation de douze tentacules ; de même dans la Fungie des lames se surajoutent. Comment donc ces animaux passent-ils du nombre douze de leurs organes au nombre vingt-quatre ?

Cette recherche a amené des résultats remarquables et inattendus, toute une loi nouvelle à ajouter à celles qui président déjà à l'embryogénie des Actinies.

L'interprétation à priori tend à faire admettre que, dans la Fungie, des lames se surajoutent entre chaque espace laissé libre ; que dans l'Actinie, entre chacun des douze espaces dont nous avons vu la formation, un nouveau tentacule va naître, et qu'ainsi nous arriverons facilement au nombre vingt-quatre dont nous cherchons le mode d'apparition. Telle était la doctrine enseignée l'an dernier. Au moins en ce qui concerne l'actinie, elle est aujourd'hui démontrée fausse. Une loi préside encore ici à la naissance des organes, à savoir, que la production du nombre précède le développement régulier des parties. C'est en cherchant le fractionnement de l'œuf dans les genres *Bunodes* et *Sagartia* que M. Lacaze-Duthiers est arrivé à la découverte de cette loi qui déroute les à priori, et que l'observation seule pouvait faire connaître. Voici les faits observés.

Il semble qu'il y ait dans le développement de l'Actinie deux stations bien marquées : la formation des douze premières parties, soumise aux lois que nous avons exposées plus haut, est comme une première étape dans l'existence de l'animal ; puis, quand de douze les organes vont passer à vingt-quatre, d'autres lois interviennent, c'est la deuxième étape de son développement. Dans cette formation nouvelle, la succession dans l'ordre d'apparition des éléments est la même : d'abord les loges sont constituées, ce qui, dès le début, établit le nombre des parties ; puis les tentacules se montrent ; enfin, par une troisième opération physiologique, les organes formés, loges et tentacules, se régularisent. Voyons donc comment se forment ces organes nouveaux, comment ensuite ils prennent les dimensions relatives qu'ils doivent garder.

Les observations que nous allons résumer portent d'abord sur le genre *Bunodes*, dont on peut voir quelques individus vivant actuellement dans les serres du Muséum ; ensuite sur le genre *Sagartia*, Actinies caractérisées par la présence de longs filaments urticants qui sortent d'une série circulaire de pores percés vers le milieu de leur corps.

Où et comment, dans ces animaux, se fait la formation des organes nouveaux ?

Nous nous rappelons comment est constituée l'Actinie au moment où cette nouvelle production va commencer : elle nous présente douze cloisons limitant douze loges, et douze tentacules alternativement grands et petits ; deux grands

Digitized by Google

tentacules limitent un grand espace au milieu duquel se trouve un autre tentacule plus petit. Telle est la disposition générale de l'Actinie à douze éléments.

A la base de son corps, dans chaque grand espace limité par les deux cloisons correspondant à deux grands tentacules, il va se faire une production de tissu nouveau, par le même mécanisme que nous avons vu présider à la formation des premiers éléments : cette production nouvelle grandit et monte vers le sommet du cône tronqué que forme l'animal; au fur et à mesure qu'elle grandit et s'élève, elle se dédouble, et de ce dédoublement résultent bientôt deux lames nouvelles dont l'écartement, toujours plus grand en bas, augmente avec le développement. Bientôt ces cloisons nouvelles gagnent le péristome et l'œsophage, la deuxième période du développement de l'animal est accomplie : deux cloisons nouvelles étant nées dans un espace limité précédemment par deux cloisons, au lieu de la loge unique préexistante, il est évident que nous en aurons maintenant trois. Mais nous nous rappelons que

Fig. 78. — Coupe du polype de la *Gerardia Lamarkii* montrant la cavité générale, dans laquelle font saillie les replis intestiniformes limitant les chambres ou stalles rayonnantes, et à laquelle aboutissent les canaux de la circulation générale (d'après les travaux de M. Lacaze-Duthiers) (extrait du *Monde de la mer* par Alfred Frédoll).

nous avions précédemment douze espaces laissés par les organes : si par le mécanisme que nous venons d'expliquer, deux loges naissaient ainsi dans chaque intervalle, ce n'est pas au nombre vingt-quatre, mais au nombre trente-six que nous arriverions, car vingt-quatre parties nouvelles se seraient ajoutées aux douze premières. Aussi n'est-ce pas dans chaque intervalle laissé par la première formation, mais seulement dans chaque grand espace, c'est-à-dire dans chaque espace limité par deux grands tentacules, que se produisent ces deux cloisons nouvelles; une paire seulement se montre dans chacun de ces grands espaces, dans l'intervalle correspondant à un grand et à un petit des douze premiers tentacules. Ainsi deux fois six éléments nouveaux sont formés et nous arrivons à notre total de vingt-quatre (fig. 78).

Le nombre est produit, la régularisation va se manifester.

Représentons-nous à ce moment la disposition des parties de l'animal. Nous voyons, en regardant le jeune *Bunodes* par sa face supérieure, deux grands tentacules que nous savons limiter un de nos grands espaces. Au milieu de cet intervalle il y avait un plus petit tentacule : nous le voyons maintenant rejeté, par la production nouvelle, sur un des côtés, vers l'un ou l'autre des deux grands bras limitants. Cette production nouvelle forme sur la circonférence de l'animal et la partie supérieure deux bourrelets et deux sillons qui s'avancent de plus en plus vers le péristome. Chacun de ces bourrelets se développe alors en tentacule. Mais comment va s'établir la régularité des parties?

Nous avons maintenant trois tentacules dans chaque grand espace : c'est le tentacule du milieu qui va devenir le plus grand. Et pourtant il est de formation plus récente; il y avait primitivement dans ce grand espace un tentacule appartenant à la première formation et qui, d'après les idées à priori de grandeur, d'âge et de position, devrait occuper le milieu de l'intervalle et surpasser en dimensions les tentacules plus jeunes que lui. Il n'en est rien. Les nouveaux venus l'ont rejeté sur un des côtés, et bientôt l'un d'eux, celui occupant le milieu, le surpassera en grandeur comme il l'a supplanté déjà dans sa position primitive (fig. 79).

Telle est la vérité inattendue que l'étude du développement du *Bunodes* et de la *Sagartia* a pu révéler. Certes, rien ne pouvait la faire prévoir; il était naturel de supposer que dans chaque espace naissait un organe nouveau, c'était l'idée qui venait la première à l'esprit, et pourtant l'observation est venue démontrer que c'était une supposition fausse.

Résumons ces observations sur l'embryogénie du *Bunodes*. Dans une première étape, douze éléments sont formés et ré-

Fig. 79. — *Gerardia Lamarkii* (1) montrant le péristome entouré de vingt-quatre tentacules alternativement grandes et petites (extrait du *Monde de la mer* par Alfred Frédoll).

gularisés; ils nous apparaissent symétriquement disposés et alternativement grands et petits. Alors, dans chaque grand espace vont se produire deux éléments nouveaux qui déplaceront le petit tentacule de première formation : de ces trois organes occupant chaque espace, celui qui tient le milieu va devenir le plus grand. Encore ici ce n'est donc pas la grandeur ni la position qui pourront nous indiquer l'âge des parties.

Telle est la loi nouvelle, vérifiée par la méthode expérimentale à posteriori. On voit combien il y a loin de la vérité à ce qu'on devait supposer être par des déductions à priori.

Ces faits sont parfaitement démontrés pour les parties molles, pour le polype. Ne sont-ils pas applicables aux parties dures, au polypier? Nous avons dit tantôt qu'un tentacule suppose une loge, qu'une loge correspond à une lame calcaire; ces trois parties sont intimement unies dans l'organisation des polypes à polypiers. N'est-il pas dès lors permis de supposer

(1) Genre nouveau du groupe des Antipathaires, décrit par M. Lacaze-Duthiers. (Voy. *Ann. des sc. nat.*, Zool., 5e série, t. II, p. 169.)

Digitized by Google

que les parties dures sont soumises aux mêmes lois de développement que les parties molles? Le doute ne vient-il pas naturellement à l'esprit, et n'est-on pas conduit à croire fausse l'interprétation première du fait observé dans la Fungie, par exemple?

Il y a d'ailleurs des faits qui militent en faveur de l'application aux parties dures des lois déduites de l'observation du développement des parties molles. Dans le *Dasmia*, nous trouvons à côté l'une de l'autre trois cloisons d'égale grandeur; de même dans la *Balanophyllia*, nous voyons trois lames semblables et voisines. Ce sont déjà des faits qui déroutent un peu nos idées préconçues. Et si nous nous rappelons le développement observé du polypier de l'*Astroides calycularis*, plus grande encore sera notre indécision. Dans chaque embryon, il naît ici d'emblée vingt-quatre lamelles calcaires qui s'unissent deux à deux par leur sommet; une troisième lamelle prolonge bientôt ce sommet vers le centre. Ainsi il se forme primitivement douze lames calcaires égales, et chacune d'elles est née de trois éléments. Il y a donc, à un certain moment, égalité parfaite entre les douze premières cloisons de l'*Astroides*, comme il y a eu similitude absolue dans leur mode et dans leur temps de formation. Plus tard, six de ces lames calcaires deviennent plus grandes que les six autres. Il y a alors alternance symétrique de grandeur; mais ce serait commettre une erreur que de déduire l'âge de ces cloisons de leur grandeur relative, puisque l'observation a montré qu'elles étaient nées en même temps.

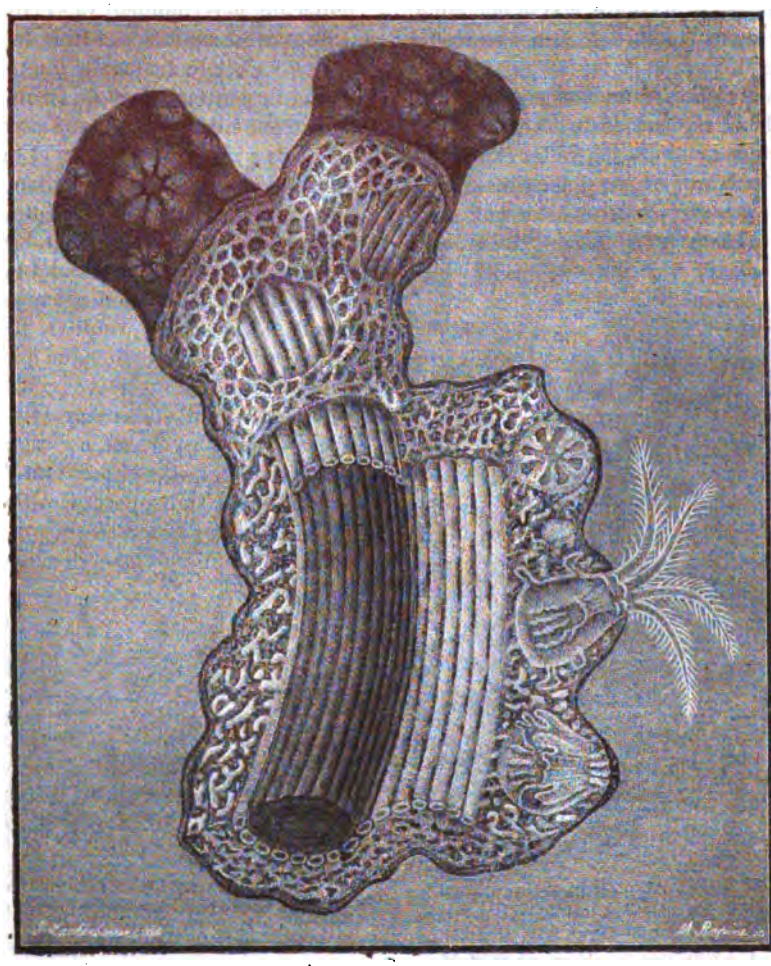


Fig. 80. — Coupe du corail montrant la distinction du polypier et du sarcosome (d'après les travaux de M. Lacaze-Duthiers) (extrait du *Monde de la mer* par Alfred Frédoll).

Devant ces faits, observés dans les parties dures, devant les lois qui régissent sûrement le développement des parties molles, le doute se présente à l'esprit. Mais pour être conséquent avec nos principes, il ne nous est pas permis d'affirmer, en ce qui concerne le polypier, qu'il en soit comme du polype, il y a sur ce point des travaux à faire, des recherches à entreprendre.

Comme conclusion, nous pouvons répéter ici ce que Gœthe et Turpin ont dit bien longtemps après Aristote : « Voir venir les choses est le meilleur moyen de les connaître. »

Pour beaucoup de personnes, l'idéal de la classification conduit à dire que, un être, étant placé dans un groupe quelconque, doit faire connaître par cela même les traits généraux de son histoire. Il faudrait que les bases d'une telle classification fussent prises dans l'étude complète de l'être et dans la nature même des choses : or son observation, à un moment donné de sa vie, ne peut en aucune manière faire connaître sa nature et son organisation réelle. On voit que nous suivons toujours la même méthode. Un exemple démontrera ce que nous avançons.

Si l'on prend une Gorgone, et qu'on la dépouille du sarcosome ou partie molle qui l'enveloppait, le polypier apparaît formé d'une substance analogue à la corne. Or, comme la corne est de nature épidermique, on en a conclu que ce polypier était un produit du même tissu. C'est sur ce point de départ qu'on a basé la classification des polypiers, leur grande division en polypiers dermiques et épidermiques. Comme on le voit, la nature des parties est invoquée, et, nous trouvons ici encore un fait et sa déduction à priori : voyons si cette déduction est exacte.

L'épiderme en tant qu'épiderme doit avoir des caractères spéciaux, des éléments à lui propres, qu'on ne retrouve pas dans le reste du corps. Si, d'un autre côté, on peut trouver dans ce polypier des éléments appartenant aux tissus profonds, on sera en droit de douter de son origine épidermique; il est évident qu'ils ne peuvent exister dans l'épiderme, ni dans les parties qu'on lui attribue. L'an dernier, c'était avec une certaine réserve que le professeur formulait cette opinion, car il ne pouvait encore alléguer qu'un seul exemple, celui du corail (fig. 80).

Dans le sarcosome ou écorce de cet alcyonaire on trouve, en effet, deux sortes d'éléments : des cellules et des petits corpuscules calcaires rouges, à facettes multiples, de forme particulière, et que l'on appelle des *spicules* (fig. 81). Or, sur l'extrémité des jeunes pointes du Corail, là où le tissu du polypier, toujours en voie de formation, n'a pas encore pris la consistance qu'il a plus bas, on voit, noyés dans un tissu qui semble leur servir de gangue et de moyen d'union (fig. 82), des spicules qui se

Digitized by Google

montrent d'autant plus serrées que l'on examine cette pointe de corail plus loin de son extrémité; on en peut conclure que le

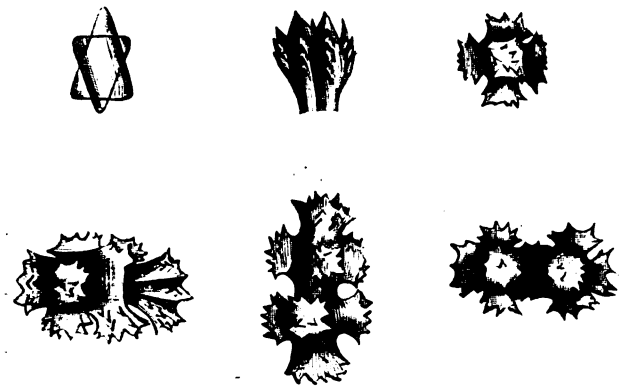


FIG. 81. — Spicules libres du sarcosome du Corail (d'après les travaux de M. Lacaze-Duthiers) (extrait du *Monde de la mer* par Alfred Frédoll).

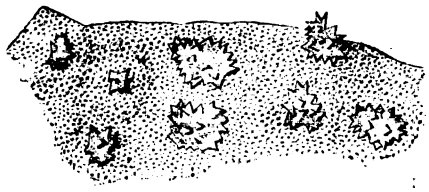


FIG. 82 — Spicules du Corail englobés dans la gangue calcaire qui forme le polype naissant (d'après les travaux de M. Lacaze-Duthiers) (extrait du *Monde de la mer* par Alfred Frédoll).

reste du polypier n'est formé que de l'agrégation de ces spicules (fig. 83).

FIG. 83. — Polypier du Corail à son origine; il est formé par des agglomérations qui lui donnent l'apparence dentelée sur les bords (d'après les travaux de M. Lacaze-Duthiers) (extrait du *Monde de la mer* par Alfred Frédoll).

Nous trouverions donc ici, dans cette prétendue production épidermique, des éléments des tissus profonds. On comprend que cela est difficile à admettre, et c'est ainsi que le professeur concluait l'an dernier.

Aujourd'hui une preuve nouvelle peut être ajoutée à ce premier fait, et devant cet exemple le doute n'est plus permis. Voici la *Gorgonia suberosa*, que quelques auteurs ont appelée *Pterogorgia sulcifera*. Si, au moyen d'une lessive de soude, on lui enlève son enveloppe externe ou sarcosome, on arrive à un axe formé de matière cornée et de spicules calcaires en couches successives; alternativement une coupe de cette partie centrale du polypier montre une lame de spicule et une lame de matière cornée. L'extrémité de cet axe en voie de formation est uniquement formée par un faisceau de spicules. Certes, c'est un exemple heureux, qui démontre, sans qu'il puisse rester aucun doute sur la question, que le polypier, bien que d'apparence cornée, n'est pas d'origine épidermique. Ce n'est pas tout. Dans l'intérieur de cet axe, au milieu de ces couches concentriques, on rencontre parfois des corpuscules fusiformes et mamelonnés. Si on les traite par un acide, on voit que ces corpuscules sont formés d'une sorte de voile corné enveloppant un petit amas de spicules calcaires. Ce fait est très-important; il confirme donc pleinement les idées émises l'an dernier sur la nature de l'axe du corail; il amène forcément au moins le doute sur l'origine épidermique du polypier des Gorgones, origine que l'on avait déduite à priori de son apparence cornée.

Quel est le raisonnement qui a conduit à ces conclusions? Frappé de la ressemblance du polypier avec la corne des animaux supérieurs, on s'est dit : La corne est de nature épidermique, donc ce polypier corné a la même origine. Mais en raisonnant ainsi, on a conclu ce qui doit être dans les animaux inférieurs d'après ce qui est dans les animaux supérieurs. On est ainsi tombé dans cette deuxième cause d'erreur que nous signalions en commençant. Ici encore la légitimité des déductions n'est qu'apparente, elle n'est pas réelle, et elle est démontrée fausse par un examen plus approfondi. Juger des animaux inférieurs par les animaux supérieurs, c'est bien souvent vouloir l'erreur ou s'y exposer.

Comment, par exemple, juger de la nutrition des animaux Invertébrés d'après celle des Vertébrés?

Voici un animal qui présente une disposition anatomique que rien ne pouvait faire prévoir. C'est la *Thetys leporina*, mollusque nu qui vit dans la Méditerranée, et qu'on ne trouve que par de grands fonds. A la partie supérieure de la tête de cet animal la peau se prolonge en formant une sorte de large collerette; de nombreux filaments, extrêmement riches en nerfs, bordent ce prolongement, qui présente à sa partie postérieure et sur la face supérieure deux replis cutanés, analogues évidemment aux tentacules de tous les gastéropodes. Si l'on renverse ce voile charnu ou que l'on regarde la Thétys par sa face antérieure, on voit une sorte de trompe; c'est la bouche. Mais là n'est pas le point vraiment intéressant de l'organisation de ce mollusque. Sur son dos sont disposées deux séries longitudinales de branchies repliées en tire-bouchons. Chaque série compte de vingt-huit à quarante panaches branchiaux, disposés par paires aux deux extrémités d'une *fosse ovale*. Cette fosse est limitée par une sorte de bourrelet, qui la sépare du reste du tissu composant l'enveloppe du corps de l'animal; elle est formée par des éléments plus délicats, d'une épaisseur moindre, elle est transparente et sans pigment cutané. A son centre est un mamelon qui fait saillie, et ce mamelon est percé d'un petit orifice. Sur ce mamelon, Delle Chiaje a observé et décrit de petits corps lamellaires allongés, qu'il a nommés *fenicuri*, et qu'il a considérés comme des embryons de la Thétys fixés sur son dos. M. Lacaze-Duthiers ne les a pas retrouvés, et il est bien probable que ces prétendus embryons n'étaient en réalité que des parasites de l'animal.

Ces mamelons sont percés d'un orifice, avons-nous dit; aussi avait-on considéré ces organes singuliers comme faisant partie d'un appareil aquifère destiné à porter le liquide devant servir à la respiration dans les parties les plus profondes de l'organisme, appareils que pendant un certain temps les natura-

Digitized by Google

listes ont cru retrouver trop souvent. Une observation venait, d'ailleurs, à l'appui de cette opinion: c'est que, quand on prend un de ces mollusques sur la main, il l'inonde bientôt de liquide. Il n'en est rien pourtant. L'étude plus attentive de l'animal est venue montrer que ce prétendu appareil aquifère n'existe pas dans la Thétys; elle a amené, en même temps, la découverte du fait physiologique le plus inattendu et le plus surprenant.

Si par l'orifice central d'une de ces fosses ovales on pousse une injection, on voit le liquide pénétrer dans le torrent général de la circulation de l'animal et non dans un appareil aquifère distinct. Qu'est-ce donc que ces orifices, sinon des voies naturelles préparées pour l'expulsion d'une partie de son sang? Par là, la Thétys peut véritablement se pratiquer des saignées quand il lui plaît. Ce n'est donc pas l'eau d'un prétendu appareil aquifère, mais bien le sang de l'animal qui inonde la main de l'observateur qui le saisit. Sous l'influence des irritations, il se contracte instinctivement et les liquides nutritifs sont rejetés au dehors; c'est une conséquence de leur incompressibilité et de l'existence de voies naturelles préparées à leur expulsion.

De plus, ces orifices s'ouvrent volontairement. Chacun d'eux est, en effet, muni d'un sphincter, qui par sa contraction s'oppose à la sortie du sang. A ce sphincter se rendent deux nerfs venant du cerveau et qui se renflent en deux petits ganglions, avant de se perdre dans les fibres musculaires. La volonté intervient; l'animal, quand il le veut, se débarrasse d'une partie de son sang.

Qu'est-ce qui eût pu faire prévoir un pareil fait dans l'étude des animaux supérieurs!

On se souvient des conditions présentées par les Zoophytes cœlentérés coralliaires. Nous avons vu, l'an dernier, que chez ces animaux la cavité digestive est une sorte de réceptacle commun, où s'accomplissent toutes les autres fonctions de l'économie. Là se trouvent réunis les organes de la digestion et de la reproduction; tout y est mêlé, les œufs, la semence du mâle, les produits de la digestion, et tout cela peut passer directement dans les canaux de la circulation. C'est là, il faut en convenir, une chose bien étrange, que rien ne pouvait faire prévoir.

Ainsi, il ne faut pas espérer de pouvoir juger par analogie de ce qui est chez les animaux inférieurs d'après ce qui se passe chez les animaux supérieurs. Sans doute, les uns et les autres s'alimentent, se meuvent, se reproduisent; mais il faut tenir compte, avant de conclure, de la différence de position dans la série animale.

En résumé, M. Lacaze-Duthiers croit avoir démontré, par l'examen des faits nouveaux qui viennent d'être présentés, combien grande doit être la prudence du zoologiste. On trouve dans la méthode d'étude qu'il ne cesse de conseiller, un moyen aussi sûr que possible d'éviter l'erreur. Cette méthode peut se résumer par ces deux mots, que nous citions en commençant : *Embryologia ancilla zoologiæ*. Si nous n'ajoutons pas deux autres mots, *anatomie* et *biologie*, c'est que pour faire de l'embryogénie l'anatomie est indispensable, et que pour faire de la zoologie l'étude des êtres vivant dans les conditions biologiques qui leur sont propres est d'absolue nécessité.

Défions-nous donc des entraînements et des charmes des généralisations trop hâtives. Aux à priori faisons toujours succéder le critérium de la méthode expérimentale à posteriori. Telle est la marche que le professeur conseillait de suivre l'an dernier : il ne peut aujourd'hui en indiquer d'autre, aucune ne lui étant préférable, et il rappelle comme conclusion ces paroles si sages du grand philosophe de Stagyre :

> « Ici, comme partout ailleurs, remonter à l'origine des choses et en suivre avec soin le développement est la voie la plus sûre d'observation. » (ARISTOTE, *Politique*.)

En terminant, M. Lacaze-Duthiers fait remarquer qu'il n'a pas encore prononcé le nom de son savant prédécesseur; mais c'était avec intention. Il a, en effet, conçu le projet d'étudier, dans les quelques leçons qui vont suivre, la méthode et les travaux de Lamarck, de Blainville et de Valenciennes. Ce sont les trois noms que l'on trouve, en effet, dans l'histoire de la chaire. Il a voulu, en recueillant l'héritage de ces grands naturalistes, puiser dans leur exemple des enseignements utiles qui puissent le guider dans la direction qu'il doit donner à ses travaux pour rendre le plus de services à la branche de l'enseignement qui lui est confiée.

L. Hallez.

Faculté des sciences de Paris.

PROGRAMME DES COURS DU SECOND SEMESTRE.

CALCUL DIFFÉRENTIEL ET INTÉGRAL (les jeudis et samedis, à huit heures et demie). — M. J. A. SERRET, professeur. M. BOUQUET continue ce cours depuis le jeudi 15 mars. Il traite du calcul intégral.

MÉCANIQUE RATIONNELLE (les mercredis et vendredis, à dix heures). — M. LIOUVILLE, professeur, continue ce cours depuis le vendredi 16 mars. Il traitera successivement de la dynamique, de l'hydrostatique et de l'hydrodynamique.

ASTRONOMIE (les lundis et jeudis, à dix heures et demie). — M. LE VERRIER, professeur. M. BRIOT a commencé ce cours le jeudi 15 mars. Il exposera les lois des principaux phénomènes astronomiques et les méthodes d'observation.

CALCUL DES PROBABILITÉS ET PHYSIQUE MATHÉMATIQUE (les mardis et samedis, à dix heures trois quarts). — M. LAMÉ, professeur. M. VERDET continuera ce cours le samedi 17 mars.

MÉCANIQUE PHYSIQUE ET EXPÉRIMENTALE (les mercredis et vendredis, à deux heures). — M. DELAUNAY, professeur. M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE continue ce cours depuis le vendredi 16 mars. Il traitera, les mercredis, de la dynamique appliquée; et les vendredis, de la cinématique et de la théorie des épicycloïdes. Il développera particulièrement les questions comprises dans le programme de la licence.

PHYSIQUE (les mardis et samedis, à deux heures). — M. JAMIN, professeur, ouvrira ce cours le samedi 17 mars. Il fera la seconde partie du cours de physique, et traitera de l'acoustique et de l'optique.

CHIMIE (les lundis et jeudis, à midi et demi). — M. DUMAS, professeur. M. H. SAINTE-CLAIRE DEVILLE commencera ce cours le jeudi 15 mars. Il traitera des sels, des métaux et de la chimie organique.

PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE (les mardis et samedis, à midi et demi). — M. CLAUDE BERNARD, professeur, traitera des propriétés des tissus dans les êtres vivants. L'ouverture de ce cours sera annoncée par un avis particulier.

ZOOLOGIE, ANATOMIE, PHYSIOLOGIE COMPARÉES (les mardis et samedis, à trois heures et demie). — M. P. GERVAIS, professeur, ouvrira ce cours le samedi 17 mars. Il traitera des différentes classes du règne animal.

BOTANIQUE (les mercredis et vendredis, à midi). — M. DUCHARTRE, professeur, a ouvert ce cours le vendredi 16 mars. Il traitera des méthodes, des principales familles et de la géographie botanique.

GÉOLOGIE (les lundis et jeudis, à deux heures). — M. HÉBERT, professeur, ouvrira ce cours le lundi 19 mars. Il exposera les phénomènes généraux sous l'influence desquels s'est constituée l'écorce terrestre.

M. G. Ville fera samedi 17 mars, à huit heures, aux *Soirées scientifiques de la Sorbonne*, une conférence intitulée : LA CRISE AGRICOLE DEVANT LA SCIENCE.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE F. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE — NUMÉRO 17 — 24 MARS 1866

Paris, 23 mars 1866.

Les *Soirées de la Sorbonne* qu'on aurait pu croire éphémères au lendemain de leur fondation, il y a bientôt trois ans, prennent de plus en plus tous les caractères d'une institution durable; elles ont même reçu cette année une extension inattendue, et il semble qu'elles doivent désormais acquérir un nouvel attrait, celui de l'actualité, en se mêlant à la discussion des questions soulevées dans le domaine de la science pure ou appliquée. La conférence de M. G. Ville sur *la crise agricole devant la science,* que nous publions aujourd'hui, autorise du moins à le supposer.

Les débats récents du corps législatif et la grande enquête qui va s'ouvrir montrent tout l'intérêt qui s'attache actuellement à ce sujet. Mais, comme la prospérité de l'agriculture dépend en définitive du développement plus ou moins facile des plantes qu'elle cultive, la science ne pouvait manquer de revendiquer une question qui lui appartient à tous les titres. La conférence de M. G. Ville avait attiré à la Sorbone une foule de personnes qui n'y viennent point d'ordinaire, notamment un certain nombre de membres des grands corps de l'État et des administrations publiques; le succès a été aussi complet que possible, et de nombreux applaudissements sont venus plus d'une fois interrompre l'éloquent professeur en lui prouvant que ses convictions scientifiques avaient un écho dans l'auditoire. E. A.

SOIRÉES SCIENTIFIQUES DE LA SORBONNE.

M. GEORGES VILLE.

La crise agricole devant la science.

Messieurs,

L'agriculture traverse en ce moment une crise sur la gravité de laquelle il n'est pas plus permis de fermer les yeux que de se faire illusion.

Les grands pouvoirs de l'État, se rendant en cela les interprètes de l'émotion publique, ont accordé cette année, aux intérêts agricoles, une attention particulière, et l'Empereur, dont l'initiative va toujours au-devant des difficultés, a ordonné une enquête dans laquelle tous les intérêts seraient appelés à se produire, toutes les souffrances à se faire connaître et toutes les opinions à se manifester dans les conditions de la liberté la plus étendue.

Je vous apporte, messieurs, l'humble tribut de ma déposition.

Si vous avez suivi avec attention les discussions auxquelles nous venons d'assister, vous voyez que tout le monde est d'accord sur un point : l'agriculture souffre; il est manifeste qu'elle est dans une situation précaire et embarrassée. Le dissentiment ne commence que lorsqu'il faut expliquer cette situation et formuler les moyens d'en conjurer les effets et d'en prévenir le retour.

Les uns l'attribuent, sans hésitation, à l'absence d'un droit à l'importation sur les céréales. A leurs yeux, le grand coupable serait la liberté du commerce.

Les autres, au contraire, objectent que la liberté du commerce est parfaitement innocente du mal qu'on lui attribue. Ils allèguent que l'importation des céréales, dans les temps ordinaires, est à peine de 1 million 500 000 hectolitres par an, ce qui est insignifiant par rapport à la production de la France, qui est d'environ 100 millions d'hectolitres, et que rétablir un droit protecteur, ce serait embarrasser en pure perte l'initiative du commerce et s'exposer à paralyser son action pendant les temps de crise, où elle s'est montrée si efficace.

L'année 1861 nous a prouvé, en effet, que le commerce agissant librement est le moyen le plus sûr de conjurer les conséquences des mauvaises récoltes.

Quant à l'état de gêne dont on se plaint, on s'accorde généralement à l'attribuer aux récoltes exceptionnelles de 1863 et 1864. On dit que le rendement ayant été excessif pendant ces deux années, il y a eu exubérance de produit, et en conséquence avilissement des prix; ce serait donc là une situation tout à fait transitoire devant cesser avec la cause qui l'a produite.

Pour moi, messieurs, je ne saurais me rallier à cette opinion ni partager cette espérance.

La cause de la situation dont on se plaint est plus profonde; elle tient à ce que l'agriculture, en France, produit à des conditions trop élevées.

Vous avez vu, il y a une huitaine de jours, dans le

Digitized by Google

Moniteur, la statistique, extrêmement intéressante et très-instructive de la production des céréales depuis dix ans. Il en résulte que la moyenne du rendement est de 14 hectolitres par hectare. Or, lorsque la terre rend 14 hectolitres, quel peut être le prix de revient?

Je trouve, dans les annales de Roville, le prix de revient établi par Mathieu de Dombasle. Or, vous savez avec quelle intelligence supérieure, avec quelle économie la ferme de Roville était dirigée.

Les prix établis par Mathieu de Dombasle peuvent donc être acceptés comme correspondant à la moyenne de nos cultures.

Eh bien! Mathieu de Dombasle estime que, pour produire 14 hectolitres de grains, il faut dépenser 240 francs, qui se décomposent ainsi :

Loyer du sol	45 fr.
Frais généraux	52
Travaux de culture	43
Semences	48
Fumures	74
Récoltes et battages	34
Total	294 fr.

d'où il faut déduire 50 francs pour la valeur de la paille. Reste 244 francs qui, divisés par 14, nous donnent le prix de 17 francs l'hectolitre.

Je conviens que si la situation que nous traversons s'était produite, il y a cinquante ans, avec le régime de la liberté commerciale, il eût été très-difficile d'en sortir. Et, en effet, il y a cinquante ans, on ne connaissait pour élever le rendement que le fumier, et de nos jours encore, il y a beaucoup d'agriculteurs qui en sont là.

Toute la science agricole se résumait dans ces trois axiomes :

De la prairie, du bétail et du fumier.

Vos rendements sont faibles, faites de la prairie, faites du bétail, faites du fumier.

Le système est excellent; seulement ayez égard, messieurs, à la situation de l'agriculture en France. Nous n'avons pas affaire ici à la grande culture; car c'est la petite culture qui domine. Or, celui qui possède 2 ou 3 hectares de terre, comment voulez-vous qu'il applique cet axiome. Qu'il fasse de la prairie, qu'il fasse du bétail pour avoir du fumier?

La modicité de ses ressources ne le lui permet pas.

Je le répète donc, je ne vois pas comment on se serait tiré de cette situation, il y a cinquante ans, sous le régime de la liberté commerciale.

Mais, messieurs, aujourd'hui nous n'en sommes plus là : produire du fumier pour faire des récoltes n'est plus une nécessité absolue.

Celui qui est placé dans des conditions où il trouve avantage à faire de la viande peut en faire; celui qui ne veut pas en faire peut s'en dispenser sans compromettre le succès de ses cultures. En effet, le moyen de produire artificiellement la végétation n'est plus un mystère; la science nous en a dévoilé tous les secrets, et je me propose précisément ce soir, messieurs, de vous faire connaître les résultats qu'elle a obtenus dans cette voie nouvelle et les conditions qui permettent de les introduire dans la pratique.

Les végétaux, qui sont si nombreux, si variés dans leurs formes et dans leur organisation, passés au creuset du chimiste, nous ramènent à une invariable fixité de composition; si bien que nous trouvons dans tous les mêmes éléments, que ces éléments, comme les lettres d'un alphabet, se prêtent à toutes les combinaisons, et que les végétaux deviennent, en quelque sorte, les mots différents d'une même langue.

En effet, analysez tel végétal qu'il vous conviendra, un arbre, une plante, une mousse, vous y trouverez invariablement quatorze éléments qui se divisent en deux catégories distinctes :

Ceux que l'on est convenu d'appeler les éléments organiques, savoir : le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote, ainsi nommés, parce qu'on ne les trouve à l'état de combinaison dans la nature, qu'au sein des animaux et des végétaux.

Ceux que l'on appelle éléments minéraux, savoir : phosphore, soufre, chlore, silicium, fer, manganèse, calcium, magnésium, potassium et sodium, — appelés minéraux parce qu'ils proviennent du sol, et appartiennent au règne inorganique.

Quel que soit le végétal que vous analysiez, vous ramenez toujours sa composition à ces quatorze termes fixes et invariables, qui sont la matière première et toute la matière première des produits végétaux.

Ce résultat étant constaté, vous comprenez qu'on ait conçu la possibilité de produire artificiellement les végétaux à l'aide de ces quatorze éléments et de les fabriquer pour ainsi dire de toute pièce, comme on fabrique un produit chimique.

Cherchons donc si, en effet, et de quelle manière, à l'aide de ces quatorze corps, on peut arriver à cet important résultat.

Prenons comme sol du sable calciné dans un four à porcelaine, c'est-à-dire une matière inerte, ne possédant par elle-même aucun élément de fécondité, en un mot de la silice pure, et voyons si, en semant dans ce sable des grains de blé, nous pouvons, à l'aide des quatorze corps que vous connaissez, refaire ce que l'analyse a défait, reproduire du blé et définir dans ce travail les fonctions particulières de chacun des corps que nous aurons employés.

A la graine et au sable ajoutons d'abord du carbone, et nous reconnaîtrons que le sable additionné de carbone n'est pas plus fertile que le sable seul.

Dans une autre expérience, ajoutons à la fois du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène sous la forme d'un composé spécial, le résultat ne sera pas meilleur.

Ainsi nous voilà amenés à une conclusion singulière. Les végétaux contiennent en moyenne de 45 à 50 pour 100 de carbone, de 40 à 45 pour 100 d'oxygène, de 5 à

Digitized by Google

6 pour 100 d'hydrogène, et la présence de ces corps, dans notre sol artificiel, n'ajoute rien à sa fertilité.

Continuons cette recherche : ajoutons cette fois au sable calciné les dix éléments minéraux qui, pour le dire en passant, forment la cendre qui reste après la combustion des végétaux. L'effet sera presque nul.

Dans le sable tout seul, la végétation était précaire, dans le sable additionné de charbon, la végétation était encore précaire; dans le sable additionné d'oxygène, d'hydrogène et de charbon, la végétation est toujours précaire, avec les minéraux elle n'est pas meilleure.

Nous voilà amenés à des conséquences bien inattendues, d'un côté l'invariable témoignage de l'analyse qui nous fait connaître les éléments premiers des végétaux, et de l'autre, l'impossibilité, à l'aide de ces éléments, de reproduire la végétation avec les caractères qu'elle présente dans une terre fertile.

Persévérons : faisons une troisième série d'expériences et ajoutons cette fois au sable calciné un seul corps, de l'azote dont les végétaux ne contiennent que 1 à 2 pour 100, et, que pour ce motif, nous avions négligé, ce sera, si vous voulez, de l'azote à l'état de sel ammoniac.

Pour le coup, le phénomène change, la végétation n'est pas belle, elle reste précaire; mais tandis que tout à l'heure les feuilles étaient jaunes, étiolées, maintenant elles sont d'un beau vert; immédiatement après la germination, la plante manifeste une extrême vitalité; il semble qu'elle va prendre un rapide essor; mais tout se borne à l'apparence, il n'y a qu'un symptôme; la végétation s'arrête, on dirait qu'une influence occulte la paralyse, cependant le rendement accuse une légère amélioration.

Faisons une dernière expérience : à du sable additionné d'une matière azotée, ajoutons les minéraux qui, tout à l'heure étaient restés sans effet, et cette fois le phénomène change complétement d'aspect, la végétation est magnifique (fig. 84).

Dans ce sol artificiel qui ne ressemble en rien à la bonne terre, le blé réussit aussi bien que dans le sol le plus fertile; son chaume acquiert de 1 mètre à 1 mètre 50 de hauteur, ses feuilles sont larges, d'un beau vert, et ses épis ont de 5 à 6 centimètres de longueur; le grain est bien formé. Le résultat est complet; nous commandons à la végétation, et nous pouvons désormais faire des végétaux comme on fait des produits chimiques.

Reste à pousser maintenant un peu plus loin cette étude et à définir les fonctions particulières de chacun des éléments auxquels nous avons eu recours.

C'est la seule partie un peu difficile de mon sujet, celle où j'ai le plus besoin de votre attention bienveillante.

Nous avons réussi à produire un végétal artificiellement, à fertiliser un sol inféconds réduit à l'état de sable calciné, et pour cela il nous a suffi d'ajouter à ce sable une matière azotée et du phosphate de chaux, du phosphate de magnésie, du sulfate de chaux, de la potasse, de la soude, de l'oxyde de fer le tout à l'état d'un silicate unique.

Eh bien ! maintenant recommençons, mais en supprimant successivement et un à un la matière azotée (fig. 85), le phosphate de chaux (fig. 86), la chaux (fig. 87) et la potasse (fig. 88), — tous les autres éléments restant au grand complet, voici ce qui arrivera. Quand tous les éléments sont réunis, la récolte atteint, je suppose, 24; la suppression de la chaux la fera descendre à 18; celle de la matière azotée, à 9; celle de la potasse, à 8; celle du phosphate de chaux, à 0. Dans ce cas, les plantes meurent huit à dix jours après la germination.

Il résulte de là qu'entre les corps qui déterminent la fertilité, il y a une solidarité telle que la suppression d'un seul terme suffit pour amoindrir, dans une proportion plus ou moins forte, et même pour rendre tout à fait nul l'effet de tous les autres.

Par conséquent, dans un sol de sable calciné qui n'offre aux végétaux qu'un point d'appui, il suffit pour le rendre fertile, d'y introduire une matière azotée, et les minéraux que vous connaissez.

Mais, me direz-vous, voilà des expériences de laboratoire auxquelles nous croyons volontiers, mais vos plantes venues dans du sable calciné, arrosées avec de l'eau distillée, dans des pots de biscuit de porcelaine, entretenues avec un soin inimaginable, n'ont pas pour nous la même signification qu'une bonne expérience faite en pleine terre.

Je vais répondre à cette objection.

Je suppose que l'on substitue au sable une terre naturelle, celle de Vincennes, par exemple, qui, pour le dire en passant, est d'assez mauvaise qualité, et qu'on supprime successivement, comme nous l'avons fait, chacun des termes du mélange, en conservant tous les autres, les choses se passeront comme dans le sable. A chacune des suppressions correspondent un abaissement de rendement, et je mets sous vos yeux les produits obtenus au champ d'expériences de Vincennes, en opérant dans ces conditions.

Il y a cependant une distinction à faire quand on opère dans la terre naturelle. Les différences que nous avons trouvées dans le sable ne se manifestent qu'imparfaitement dès le début, presque toujours la terre contenant une certaine dose de l'élément qu'on a supprimé. Mais à la deuxième ou troisième récolte, cette cause cessant, les effets se confondent avec ceux qu'on obtient dans le sable calciné.

Vous voyez donc, messieurs, que dans la terre naturelle, en nous conformant aux mêmes conditions que pour le sable, nous arrivons exactement aux mêmes effets; nous produisons des végétaux de toute pièce sans fumier, et que nous pouvons, au terme de ce travail, définir les fonctions de chacun des éléments auxquels nous avons eu recours.

Ainsi la pratique confirme les résultats découverts par

Digitized by Google

la théorie; il y a entre elles une concordance complète; mais il nous reste deux points à éclaircir.

Nous avons dit tout à l'heure que le carbone ou un composé contenant du carbone, de l'oxygène et de l'hydrogène, ajouté au sol, était sans influence sur la végétation.

Comment cela est-il possible puisque les végétaux contiennent une si grande quantité de ces trois corps et que nous en trouvons dans ceux venus dans le sable calciné qui en est dépourvu. Cela s'explique en deux mots :

Le charbon des végétaux ne vient pas du sol, mais de l'air. Dans l'air il y a du gaz acide carbonique. Les feuilles jouissent de la propriété d'absorber ce gaz, elles en fixent le carbone et restituent à l'atmosphère l'oxygène qui lui était uni. La véritable source du carbone des végétaux, c'est donc l'acide carbonique de l'air.

Ainsi il n'est pas étonnant que l'addition du carbone dans le sol n'exerce pas d'influence appréciable.

Quant à l'inactivité des produits organiques formés d'hydrogène, d'oxygène et de charbon, l'explication n'est pas moins aisée.

L'oxygène et l'hydrogène contenus dans les végétaux viennent de l'eau, or le sable calciné dans lequel nous avons expérimenté ayant dû être maintenu à un certain degré d'humidité, les végétaux se sont trouvés, par cela même, pourvus d'oxygène et d'hydrogène.

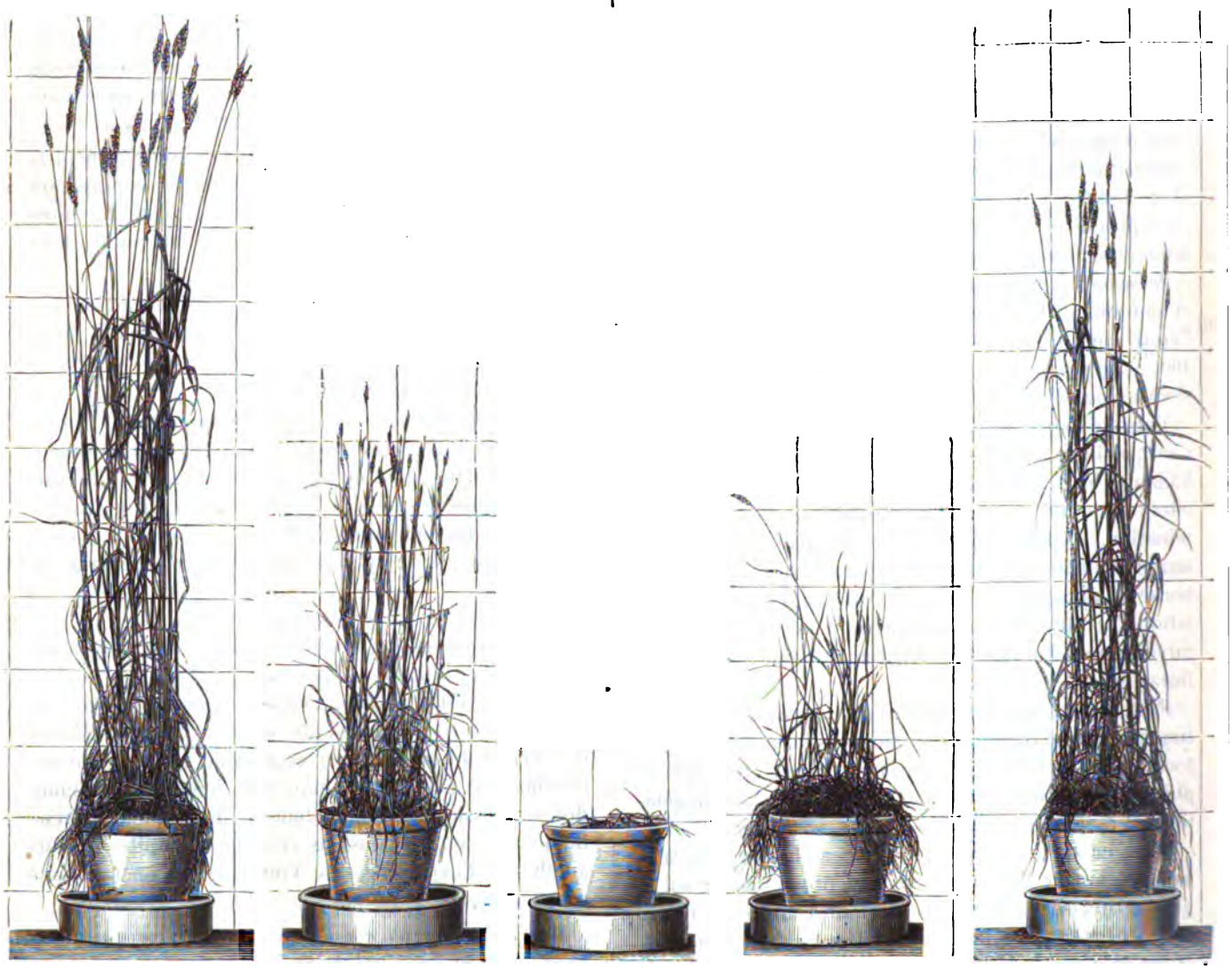


FIG. 84. Engrais complet. FIG. 85. Sans matière azotée. FIG. 86. Sans phosphate de chaux. FIG. 88. Sans potasse. FIG. 87. Sans chaux.

Ce premier point établi, reportons-nous aux expériences en pleine terre.

Nous avons dit que si, dans une terre naturelle, nous ajoutions une matière azotée et les minéraux qui entrent dans la composition des végétaux, nous réalisions les conditions d'une grande fertilité.

Eh bien, il y a une particularité extrêmement inattendue qui m'a longtemps embarrassé et qui cependant s'explique aussi facilement que l'inactivité du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène à l'état de composé indépendant dans le sol; c'est que si vous essayez simultanément l'action de deux engrais, l'un contenant seulement une matière azotée et du phosphate de chaux, de

Digitized by Google

la potasse et de la chaux, l'autre contenant en plus la magnésie, l'oxyde de fer, le chlore, le soufre, etc., dans les deux cas l'effet est exactement le même.

Les corps de cette dernière catégorie n'exerceraient-ils donc aucune influence sur la végétation? bien au contraire leur intervention est indispensable, mais les terres naturelles, même les plus médiocres, en étant surabondamment pourvues, il n'y a pas lieu dans la pratique, de s'en préoccuper.

Nous arrivons donc, prenant toujours l'expérience pour guide, à cette conclusion générale : qu'au moyen d'une matière azotée, associée à du phosphate de chaux, à de la chaux et à de la potasse, on réalise, au point de vue pratique, les conditions par excellence de la fertilité, et que toutes les terres auxquelles on applique ce mélange, si peu fertiles qu'elles soient, deviennent capables de produire de magnifiques récoltes. Vous pouvez en juger, car voici les blés qu'on a obtenus à Vincennes, avec le secours de ces agents, et voici celui qui est venu sur la terre sans engrais. Dans le premier cas, le rendement a été de 47 hectolitres à l'hectare, et dans le second de 11 hectolitres seulement. (Voyez fig. 89 à 92, p. 278 et 279.)

Voici encore des cannes à sucre que j'ai obtenues en Égypte, à l'aide des engrais chimiques, dans la propriété du prince Halim Pacha le rendement a été 114 000 kilog. de cannes effeuillées, à l'hectare, alors que la terre naturelle n'a produit, sans engrais, que 71 000 kilog.

Ainsi nous voilà arrivés à un résultat fondamental d'où toutes nos conséquences vont se déduire, d'où toute la science agricole va découler : c'est que sur les 14 éléments dont les végétaux se composent, quatre sont seulement nécessaire à la fertilisation du sol, les autres se trouvant naturellement, ou dans l'air, ou dans la terre.

Mais il y a une seconde conclusion pratique, non moins intéressante et non moins féconde, sur laquelle il faut que j'appelle d'une façon toute particulière votre attention.

Je suppose que vous décomposiez cet engrais formé des quatre termes; je suppose qu'on emploie isolément, comme engrais, sur une terre de fertilité moyenne, de la matière azotée, du phosphate de chaux ou de la potasse, l'effet en sera très-différent suivant la nature des végétaux qu'on y cultivera.

La matière azotée produit un grand effet sur les céréales. Le phosphate de chaux, inactif à l'égard du froment, se montrera très-efficace sur le turneps et le rutabaga, la potasse sur les légumineuses.

Cette efficacité spécifique est une chose fort curieuse; je ne puis vous la présenter qu'à titre de fait, dont l'explication m'entraînerait trop loin; j'ajouterai cependant que les effets de cet ordre ne se manifestent que dans les sols d'une fertilité moyenne, c'est-à-dire déjà pourvus, dans une certaine mesure, de matière azotée, de phosphate, de chaux, de potasse et de chaux; dans un sol qui serait absolument dépourvu de ces produits, les effets que je rapporte ne se manifesteraient pas. Ce qui nous mène finalement à cette conséquence générale, que si la réunion du phosphate de chaux, de la potasse, de la chaux et d'une matière azotée, réalise la condition par excellence de la fertilité, chacun de ces quatre corps remplit tour à tour une fonction subordonnée ou prédominante, la matière azotée remplit la fonction prédominante à l'égard du froment, du colza, etc.; à l'égard des turneps et des rutabagas, elle descend au rang d'agent subordonné, et c'est le phosphate de chaux qui devient, dans ce cas, l'élément dominant par son efficacité.

Mais, je le répète, cette prééminence ne se manifeste que dans les terres de fertilité moyenne.

Il suit, de ce que je viens de vous dire, qu'il est possible d'obtenir une belle succession de récolte en donnant à la terre, l'un après l'autre, les quatre termes de l'engrais complet. Mais, pour cela, il faut y cultiver successivement les végétaux à l'égard desquels chacun de ces quatre termes possède la prééminence fonctionnelle dont nous parlions tout à l'heure. Au terme de la rotation, la terre a reçu les quatre agents de la fertilité, mais elle les a reçus l'un après l'autre.

Deux propositions résument les résultats que je viens de vous exposer.

1° Quatre corps sont nécessaires pour produire des végétaux; ils forment les éléments par excellence de la production végétale, la matière première à laquelle il faut que l'agriculteur ait recours pour produire de belles et fructueuses récoltes;

2° Chacun de ces quatre corps remplit une fonction prédominante à l'égard de certaines cultures, et nous appelons ce corps élément dominant par rapport à la culture sur laquelle il se montre si particulièrement efficace.

Dans un instant, vous allez apercevoir les conséquences considérables de ce fait expérimental, dont je pourrai vous rendre témoins au champ de Vincennes. En passant d'une culture à l'autre, vous y verriez les contrastes que je viens de vous signaler.

De cet ensemble de faits, il résulte que les éléments premiers de la production végétale sont connus, que le degré d'importance de chacun de ces éléments est lui-même connu et déterminé.

Il est bon d'ajouter, et je ne saurai trop insister sur ce point, que l'expérience des agriculteurs et les procédés pratiques, consacrés par l'usage, confirment pleinement les propositions que je viens de vous exposer.

En effet, le fumier de ferme a été considéré de tout temps comme le seul agent de fertilité vraiment efficace; comme le symbole, la source de toute production en agriculture.

Analysons donc le fumier de ferme : nous y trouvons, à côté de beaucoup d'autres corps reconnus inutiles, de la matière azotée, du phosphate de chaux, de la potasse

Digitized by Google

CHAMP D'EXPÉRIENCES DE

ENGRAIS COMPLET.

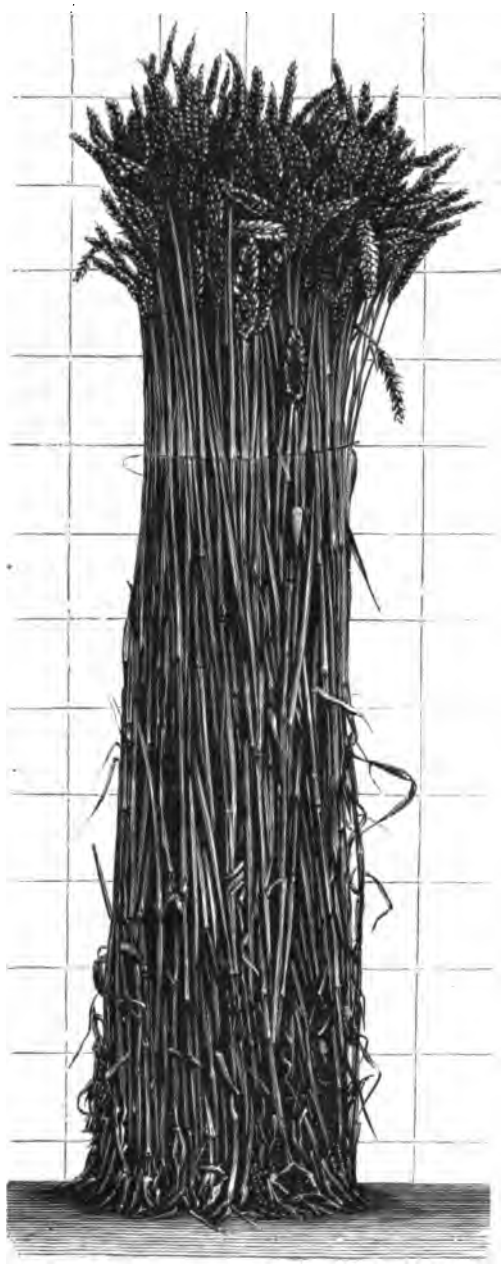


FIG. 89.

RENDEMENT A L'HECTARE

	KIL.	HECTOLITRES.
Paille	6941	»
Grains	3750	46
	10691	

ENGRAIS AZOTÉ SANS MINÉRAUX.

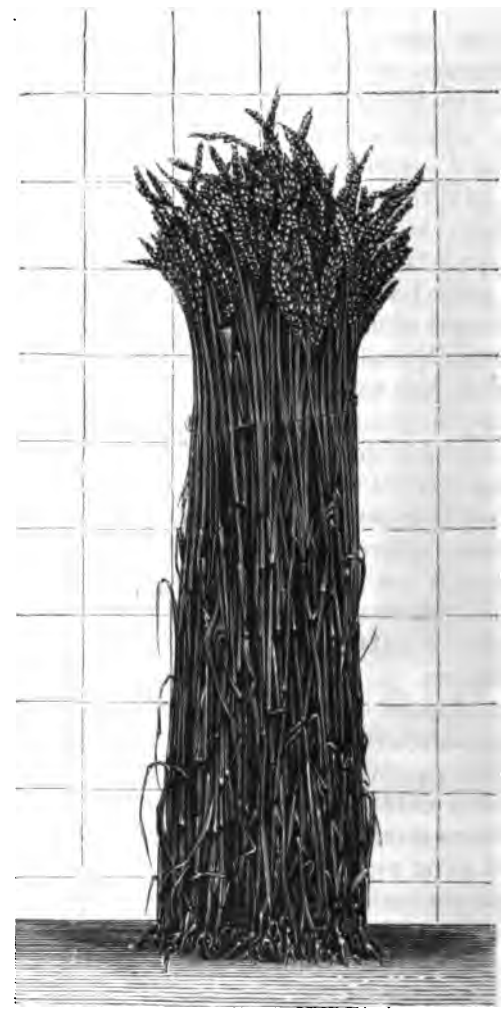


FIG. 90.

RENDEMENT A L'HECTARE

	KIL.	HECTOLITRES.
Paille	3487	»
Grains	1620	20
	5137	

Digitized by Google

VINCENNES — RÉCOLTES DE 1863

ENGRAIS MINÉRAL SANS MATIÈRE AZOTÉE

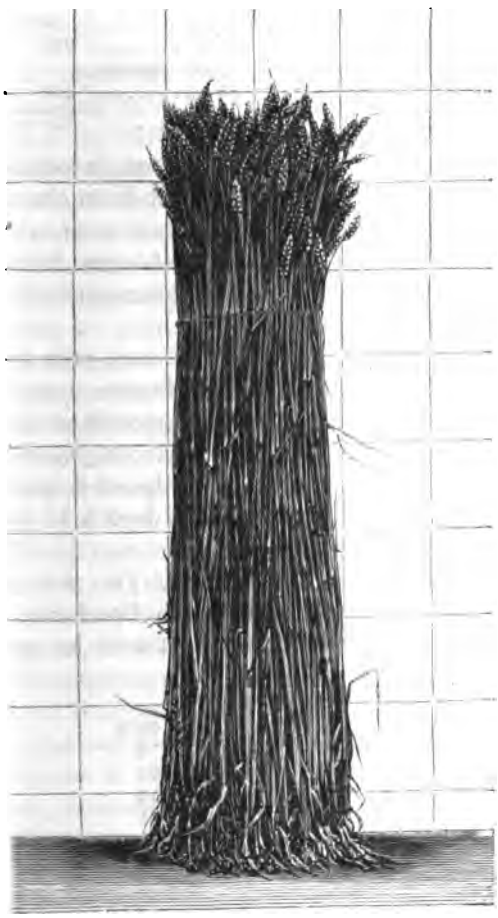


FIG. 91

RENDEMENT A L'HECTRARE

	KIL.	HECTOLITRES.
Paille	3003	»
Grains	1287	16
	4290	

TERRE SANS ENGRAIS.

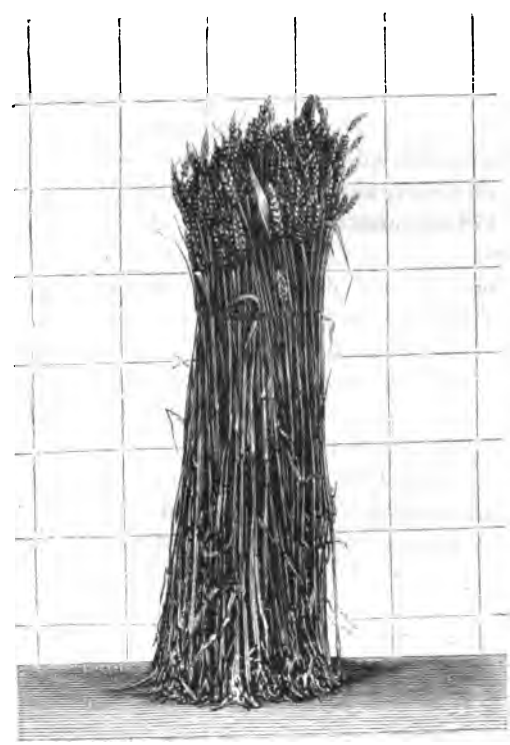


FIG. 92.

RENDEMENT A L'HECTARE

	KIL.	HECTOLITRES.
Paille	2640	»
Grains	902	11
	3542	

Digitized by Google

et de la chaux; c'est-à-dire les quatre corps dont l'emploi direct a déterminé les effets que je viens de décrire et les résultats que vous avez sous les yeux.

Mais, allons plus loin.

S'il est vrai que ces quatre corps sont, en effet, les régulateurs de la production végétale, et s'il est vrai qu'entre le rendement d'une récolte et la quantité de ces quatre corps qu'on a employés il y a une corrélation néceseaire, l'expérience des agriculteurs doit nous fournir encore les moyens de justifier cette corrélation, de montrer sa justesse et sa vérité. Vous savez tous qu'on appelle en culture système triennal l'assolement dans lequel on laisse la terre une année en jachère, pour la cultiver ensuite deux années consécutives en céréales.

Or, prenant toujours l'expérience pour guide et pour loi, demandons-nous quelle est la quantité de fumier que la pratique a reconnue nécessaire pour entretenir la fertilité du sol soumis à ce régime. Analysons le fumier, analysons la récolte, et voyons si entre ces deux analyses nous découvrirons une sorte de balance.

Or, l'expérience des agriculteurs atteste que, pour conserver à la terre sa fertilité, il faut tous les trois ans lui rendre environ 20 000 kilogrammes de fumier de ferme.

Ce fumier contient 83 kilogrammes d'azote, et dans les deux récoltes de céréales nous en trouvons 85 kilogrammes. — Dans le fumier, on trouve 39 kilogrammes d'acide phosphorique à l'état de phosphate de chaux et 38 kilogrammes dans les récoltes. Enfin, dans le fumier, on trouve 102 kilogrammes de potasse et 160 kilogrammes de chaux, alors que dans les récoltes il n'y a plus que 55 kilogrammes de potasse et 23 kilogrammes de chaux.

Il résulte donc de cette comparaison que les quatre corps que nous avons appelés les agents actifs et régulateurs de la production végétale remplissent bien cette fonction importante, puisque, pour deux d'entre eux, on retrouve dans la récolte juste ce que l'engrais en contenait lui-même, et qu'à l'égard des deux autres il y en a un excès dans l'engrais. Dans ce système, la terre reçoit plus qu'elle ne perd, et ainsi s'explique la possibilité de renouveler indéfiniment les récoltes, sans l'épuiser jamais, si l'on a soin de renouveler en même temps les fumures.

Ainsi, les résultats auxquels la science nous a conduits, les résultats déduits de nos analyses, la pratique les confirme, et cette confirmation a une signification d'autant plus concluante, que le rapport du fumier au rendement a été établi par tâtonnements, par l'expérience, par la pratique, lorsqu'on n'avait aucune idée ni de la composition du fumier, ni de la fonction des éléments qui en font partie.

Et maintenant, messieurs, arrivons à la pratique.

Le premier fait qui se présente est celui-ci : c'est qu'il doit être possible de substituer avec avantage au fumier de ferme un mélange de matière azotée, de phosphate de chaux, de potasse et de chaux, car, en réalité, ces quatre corps sont au fumier de ferme ce que la quinine est au quinquina, ce que la morphine est à l'opium, c'est-à-dire la condition essentielle de son activité.

Comment faut-il s'y prendre pour employer ces corps avec le plus d'avantages?

Lorsque j'ai tenté mes premières expériences en grand, je suis parti de ce raisonnement infiniment simple : donner à la terre les quatre corps dont l'efficacité a été reconnue certaine, les lui fournir à haute dose et cultiver jusqu'à épuisement.

Cette expérience devait me faire connaître la durée de l'action de l'engrais, et, par conséquent, le prix de revient des récoltes. Pour simplifier ma démonstration, je prendrai le blé pour exemple et pour base de ces calculs.

Après beaucoup de tâtonnements et d'incertitudes sur la dose la plus convenable, je me suis arrêté à la suivante, que je rapporte à l'hectare :

Phosphate de chaux,	400 kil.	à 15 fr.....	66 fr.
Potasse épurée,	300	75 fr.....	225
Chaux	200	pour mémoire.	
Sel ammoniac (azote),	650	35.....	245
Total.....			530 fr.

La première année, on donne à la terre la totalité de phosphate de chaux, de la potasse et de la chaux, et seulement les deux tiers du sulfate d'ammoniaque, c'est-à-dire 400 kilogrammes; le reste, c'est-à-dire 250 kilogrammes, étant réservé pour la troisième année de culture.

Eh bien! avec une dépense de 520 francs, pour quatre années, ce qui porte le prix de la fumure annuelle à 133 francs, on obtient en moyenne 35 hectolitres de froment à l'hectare et 5000 kilogr. de paille; et j'ajoute que ce résultat est plutôt au-dessous qu'au-dessus de la vérité.

Dans ces conditions, le blé revient de 9 à 10 francs l'hectolitre.

Pour établir ce prix de revient, j'ai pris pour les frais généraux ceux de Mathieu de Dombasle, que j'ai augmentés de 30 pour 100, et dont voici au surplus le décompte.

Loyer.....	60 fr.
Frais généraux.....	72
— en culture.....	63
Semences.....	46
Récolte, battage.....	71
Fumure.....	133 (1)
TOTAL.....	446 fr.

Or, si de 445 francs on retranche 103 francs prix de la paille, la dépense descend à 342 francs, lesquels, répar-

(1) On peut remplacer le sel ammoniac par le nitrate de soude ; cette substitution est même avantageuse pour certaines cultures, notamment la betterave. Mais alors le prix de la fumure s'élève à 150 francs par an. Le nitrate de soude coûte de 35 à 40 francs les 100 kilogrammes et contient de 15 à 16 pour 100 d'azote, alors que le sulfate d'ammoniaque ne coûte que 35 francs les 100 kilogrammes et contient 22,7 pour 100 d'azote.

Digitized by Google

tis en 35 hectolitres, nous donnent 9,77, soit, en chiffres ronds, 10 francs l'hectolitre.

Or, je dis que, dans ces conditions, l'agriculteur n'a plus à s'inquiéter, ni à craindre l'importation des blés étrangers.

On a parlé des blés d'Odessa et de ceux d'Égypte : les blés d'Odessa rendus à Marseille reviennent à 17 francs l'hectolitre. Ce n'est donc pas de ce côté que peut venir le danger. Quant à l'Égypte, j'en puis parler en pleine connaissance de cause, car j'y ai institué depuis deux ans des cultures suivies de blé, d'orge et de canne à sucre. Or, je puis vous affirmer que, sous le rapport du blé, l'Égypte n'est pas à redouter.

En Égypte, en effet, le blé ne peut pas être vendu à moins de 10 à 12 francs l'hectolitre. Pour arriver à Marseille, ce blé doit supporter en frais divers une surélévation d'à peu près 3 ou 4 francs par hectolitre, ajoutons qu'il n'a pas la même qualité que les nôtres, qu'il est toujours coté 2 francs au-dessous du cours des blés de pays. Il n'y a donc pour nous aucun danger de ce côté.

Vous voyez que tout le secret des prix de revient réduits dépend de l'emploi des fumures très-énergiques, car alors le rendement augmente dans une proportion considérable, et les frais généraux restent les mêmes.

Les résultats que je viens de vous faire connaître sont déduits de mes expériences personnelles à Vincennes, mais je m'empresse d'ajouter qu'aujourd'hui je ne suis plus seul à expérimenter, des applications de la nouvelle méthode se poursuivent en ce moment sur 15 ou 20 points différents.

La plupart des résultats qu'ils ont produits sont au-dessus de la moyenne que j'ai rapportée. Je n'entrerai pas dans plus de détails sur ce point, parce qu'ils m'entraîneraient trop loin.

Mais, me direz-vous, le procédé que vous venez de décrire est-il le meilleur, le plus économique, celui auquel il faut recourir de préférence? car enfin, l'avance d'une somme de 400 à 500 francs par hectare est chose considérable. L'année où l'on fait cette avance peut être défavorable sous le rapport météorologique, la récolte peut manquer; et puis, certains de ces agents sont solubles, les eaux pluviales doivent en entraîner une partie, ce qui occasionne une perte dont il y a lieu de se préoccuper.

Non, messieurs, l'emploi des engrais chimiques ne se borne pas au mode que je viens de vous faire connaître, ces agents se prêtent à toutes les combinaisons possibles. Je viens de vous indiquer la plus simple, celle à laquelle j'ai eu recours lorsque j'ai commencé mes expériences. — Mais voici les modifications qu'on peut y apporter et les avantages qui en résultent.

Concevez, en effet, une terre de fertilité moyenne pourvue par conséquent, dans une certaine mesure, des quatre termes de l'engrais complet, dont la fonction se trouve maintenant rigoureusement définie. Au lieu de ne cultiver cette terre qu'en froment, ce qui est toujours un désavantage, prenez le parti de varier vos cultures, ce simple changement vous permettra de diminuer la dépense dans une proportion importante.

J'ai dit que chacun des quatre agents devenait l'élément prédominant de l'engrais, et que l'emploi isolé de ce terme prédominant suffisait aux besoins d'une bonne récolte. Supposons donc un assolement qui s'ouvre, comme on a coutume de le faire en Angleterre, par une culture de rutabaga ou de turneps. Après ce que nous avons dit, de la dominante de cette culture, vous savez qu'il suffira d'employer une fumure de phosphate acide de chaux pour obtenir d'excellents résultats, ce qui réduit la dépense à 60 francs. L'année suivante nous mettrons la terre en froment, et nous fumerons avec de la matière azotée. La première année, la terre aura reçu du phosphate de chaux; la seconde année, elle aura reçu de la matière azotée. La troisième année, devant cultiver du trèfle, nous emploierons comme engrais un mélange de potasse et de chaux. La quatrième année, nous produirons encore du froment, mais sans aucune fumure, la richesse acquise par le sol pouvant suffire amplement aux besoins de cette quatrième récolte.

De cette manière, au lieu de recourir du premier coup à la fumure complète et d'avancer à la terre 400 ou 500 francs, nous aurons recours à trois fumures partielles et alternantes, réglant la nature de chacune sur son efficacité spécifique, et répartissant ainsi la dépense sur une période de quatre années.

C'est à vous de choisir entre ces deux modes, suivant les conditions dans lesquelles vous vous trouverez placé. Au fond les deux procédés sont les mêmes, ils conduisent au même résultat; mais le système des fumures alternantes est plus économique et peut-être plus avantageux sous le rapport du rendement.

Quelle est, messieurs, la conclusion générale qui résulte des notions que je viens d'avoir l'honneur de vous présenter? C'est que désormais les agriculteurs ne sont plus soumis à la nécessité de produire eux-mêmes leur fumier. Nous nous ferons producteurs de fumier si nous y trouvons notre avantage; mais si nous trouvons plus profitable de recourir aux éléments premiers de la fertilité, rien ne nous en empêche; nous avons le choix entre ces deux systèmes.

Si, maintenant, messieurs, vous voulez réfléchir un moment à la situation de l'agriculture française, vous reconnaîtrez sans peine que ces procédés arrivent à point nommé pour lui fournir la solution dont elle a tant besoin, pour lui donner les moyens de sortir de l'état précaire dans lequel elle se trouve et qui ira s'aggravant chaque année si elle n'entre pas dans la voie que nous lui indiquons.

L'agriculture intensive, c'est-à-dire l'agriculture qui emploie les engrais à haute dose, est la seule qui donne de grands profits. Et cela se comprend, je vous l'ai déjà dit, car à part les frais de battage et de transport qui dé-

Digitized by Google

pendent de l'abondance des récoltes, les autres ne changent pas.

L'engrais est la matière première, sur laquelle la végétation opère; en forçant la dose, on élève immédiatement le rendement plus sûrement et plus économiquement que par tout autre procédé.

Quant à la petite culture qui possède deux, trois hectares, elles ne peut, dans les conditions où elle est placée, faire ni engrais, ni prairies, ni acheter des animaux; elle est condamnée à mal fumer, elle épuise fatalement le sol, elle produit à des prix trop élevés pour pouvoir soutenir la libre concurrence. Que peut donc faire la petite culture? Il faut, de toute nécessité, qu'elle entre dans la voie que la science ouvre devant elle, et au terme de laquelle le résultat est certain.

Avec 100 francs d'engrais, on produit un excédant de récolte de 200 à 300 francs. L'hésitation n'est donc pas permise, rien ne saurait la justifier.

A cela, en effet, il n'y a pas d'objection possible; c'est un fait pratique.

Je le répète donc, la petite culture n'a qu'un moyen de sortir de la situation précaire où elle est, c'est de fumer à haute dose et de recourir pour cela aux engrais chimiques.

Il me serait facile, et cela par un calcul très-simple, de vous montrer que si l'on portait le rendement moyen du blé de 14 à 30 hectolitres, le résultat économique prendrait pour la fortune publique des proportions devant lesquelles l'imagination n'ose s'arrêter.

Ce qu'il y a de bien sûr, c'est que le jour où l'on entrera dans la voie dont il s'agit, le jour où ces procédés deviendront usuels, familiers aux agriculteurs, il suffira de cultiver en blé de 4 à 5 millions d'hectares, non-seulement pour suffire aux besoins de notre consommation, mais encore pour alimenter une exportation régulière de 10 à 15 millions d'hectolitres. Quant au placement de cet excédant de récolte, n'en ayez nul souci, l'Angleterre l'achètera; car il lui faut de 25 à 30 millions d'hectolitres de grains par an.

Il y a un autre avantage pour un grand pays comme la France à dépasser, sous le rapport de la production, les besoins de son marché intérieur, et à faire d'une manière permanente une part à l'exportation.

En cas de mauvaise récolte, on se trouve nanti; le haut prix que les denrées atteignent alors, met à l'exportation une barrière plus efficace que les tarifs les plus restrictifs. Dans ce nouveau système, 3 ou 4 millions d'hectares devenant disponibles, on pourrait faire une part plus large aux cultures fourragères, aux cultures industrielles, à la production de la laine, dont nous importons pour 200 millions par an, à la production de la viande, dont tout le Midi manque, et qui, dans le Nord, est à un prix trop élevé.

La conclusion générale et finale de ce que je viens de vous exposer, messieurs, c'est que si la grande culture peut faire marcher de front la production de la viande et celle des céréales, la petite n'est pas dans les mêmes conditions. Force lui est donc de recourir à d'autres procédés. Les procédés qui lui conviennent sont trouvés, vous les connaissez maintenant, mais cela ne suffit pas, si ces procédés devaient rester inaccessibles à ceux qui en ont besoin. Or, il est incontestable que la situation actuelle de l'agriculture, au point de vue du crédit, est aujourd'hui déplorable et qu'elle est un obstacle aux moindres améliorations. Pour moi, je me demande souvent, et toujours avec surprise, comment il est possible, lorsqu'on sait qu'avec 100 francs d'engrais on obtient un excédant de récolte pouvant s'élever de 200 à 300 francs, que l'agriculture, qui produit annuellement pour 7 ou 8 milliards, ne puisse pas se procurer ce premier capital, qui doublerait, triplerait la fortune publique

Diverses tentatives ont été faites pour fournir à l'agriculture le capital roulant qui lui est si nécessaire; ces tentatives n'ont pas réussi. Je ne veux pas reproduire ici ce qui a été tant de fois répété, dans les discussions qui viennent de finir, et sur le *Crédit foncier*, et sur le *Crédit agricole*.

Ce qui est certain, c'est que ces institutions ne répondent que très-imparfaitement aux besoins en vue desquels elles ont été conçues et fondées. Or, messieurs, lorsqu'on met son pays au régime de la libre concurrence, il faut lui donner le moyen de se défendre et de lutter avec avantage.

Une enquête va s'ouvrir : il faut que l'agriculture, d'une voix unanime, demande les bénéfices du crédit qui lui fait défaut. Pour devenir prospère, l'agriculture a besoin qu'on lui facilite l'accès de deux ordres de crédit bien différents. Ce que j'appellerai le crédit personnel, celui qui est indéterminé quant à son objet, et n'a pour garantie que la fortune, la capacité et la nature morale de l'emprunteur.

Les crédits de cette nature ne peuvent prendre leur source que dans des banques locales, établies sur le modèle de celles de l'Écosse.

Mais à côté de ces opérations aléatoires, dont il est impossible de prévoir avec certitude les résultats, il y a tout un ordre d'opérations d'une nature déterminée dont les avantages sont connus et ne laissent rien au hasard; telles sont, par exemple, les avances faites au sol sous forme d'engrais, les travaux d'irrigation ou de drainage.

Les prêts conclus en vue d'opérations de cette nature doivent incomber évidemment à une institution qui relève de l'État et obtienne au besoin son appui, car au bout de ces améliorations il y a un accroissement certain de la fortune publique.

Quand sir Robert Peel résolut de supprimer la taxe qui pesait sur l'importation des grains, il se préoccupa de la situation nouvelle qu'il allait faire à l'agriculture de son pays. Aussi son premier soin fut-il de mettre à sa disposition d'abord 100 millions pour des travaux de drainage, d'assainissement, etc.

Il fit plus; cette somme ayant été rapidement épuisée,

Digitized by Google

il obtint du Parlement la création de deux compagnies qui continuèrent son œuvre, avec le concours et sous le contrôle de l'État.

Un propriétaire veut drainer son champ ou l'enclore, il s'adresse à l'une de ces compagnies; celle-ci envoie un ingénieur sur le domaine pour apprécier les avantages qu'il est permis d'attendre de l'amélioration projetée.

Si elle est trouvée capable de produire 10 pour 100 au moins du capital engagé, sur l'avis favorable de son mandataire, la Société se substitue à l'emprunteur pour l'exécution des travaux, et quand ils sont achevés, pour rentrer dans ses avances, elle émet sur le marché un titre de rente auquel est annexé le plan de la propriété, l'indication des travaux exécutés, et, moyennant un intérêt de 6 3/4 pour 100, la créance s'amortit en vingt-cinq ans.

Le résultat de l'opération se traduit donc par une bonification de 3 pour 100 au moins, sur l'intérêt du capital dépensé.

On a beaucoup critiqué parmi nous la loi sur le drainage. Les 100 millions que l'État a offerts aux agriculteurs n'ont pas été employés; on a généralement attribué cet insuccès à l'économie de la loi, qui imposerait, dit-on, aux emprunteurs des formalités trop nombreuses et gênantes.

La véritable raison est ailleurs.

En agriculture toutes les dépenses ne sont pas également productives, il y a entre elles une subordination que l'on ne peut intervertir sans de graves dommages.

Pour une agriculture constituée comme l'agriculture anglaise, où c'est la grande culture qui domine, où l'on pousse à la production de la viande, où l'on dispose d'une quantité d'engrais véritablement énorme, et dans l'économie de laquelle l'engraissement au moyen des tourteaux se fait sur une grande échelle, pour une agriculture comme celle-là, placée dans un climat humide et froid, le drainage est une opération excellente et nécessaire. Mais en France, où la petite culture domine, les conditions sont bien différentes; si l'on dit à un petit propriétaire qu'avec 100 francs employés en drainage il gagnera 10 francs, on ne le tente pas, parce qu'il sait qu'avec 100 francs d'engrais il en gagnera 300, ou 200 au moins.

Si la loi sur le drainage n'a pas réussi, si l'on ne s'est pas empressé d'user du concours de l'État, c'est qu'en définitive ce qu'il nous faut ce n'est pas le drainage, ce sont des engrais. Ah! si les 100 millions qui avaient été proposés pour le drainage étaient mis par l'État à la disposition du *Crédit foncier* qui les avancerait à l'agriculture pour achats d'engrais, avec faculté d'en opérer le remboursement à un an de terme, soyez sûrs que les 100 millions seraient bien vite employés, ce qui aurait pour conséquence d'accroître, dès la première année, notre revenu territorial de 200 à 300 millions.

Ce n'est pas là une vaine hypothèse, c'est une fait d'expérience certaine. Au surplus, je ne doute pas qu'une mesure de ce genre ne soit prise, je puise ma confiance dans l'intérêt que l'empereur porte à l'agriculture, et dans sa persévérance et ses efforts pour la doter d'institutions de crédit. Ce n'est pas dans un pays comme le nôtre, alors surtout que la situation est devenue si pressante, qu'il faut douter de l'avenir.

Mais une mesure de cette nature n'aurait pas seulement pour conséquence d'améliorer une situation qu'on ne peut laisser durer plus longtemps, elle aurait encore celle de développer parmi nous le commerce des engrais, et surtout celle de le moraliser. Aujourd'hui, ce commerce est le plus immoral qui existe; j'ajoute qu'il lui est bien difficile d'être honnête : un marchand d'engrais est forcé de vendre à crédit; il doit accorder un an ou quinze mois de terme; alors qu'il ne lui est accordé à lui que deux ou trois mois. Pour compenser le désavantage qui résulte de cette immobilisation de capital, il ne peut se contenter d'un bénéfice ordinaire; comme la valeur d'un engrais ne peut se juger à la vue, un commerçant peu scrupuleux trouve plus d'avantage à le falsifier qu'à le grever d'un fort bénéfice.

Le bas prix attire irrésistiblement l'acheteur. La fraude dissimule le profit; le bénéfice produit par la fraude est sans limite, parce que le mélange se fait avec des matières sans valeur. Dans ces conditions, la fraude est inévitable.

Je reconnais volontiers qu'il y a des exceptions, mais leur petit nombre justifie la sévérité de mon jugement. L'acheteur est trompé, le pays en souffre, car lorsque la récolte est mauvaise, le prix de toute chose s'élève, et les classes ouvrières sont les premières atteintes.

Si le *Crédit foncier* était autorisé à mettre à la disposition de l'agriculture pour achats d'engrais, sous la forme d'obligations garanties par l'État, à un an de terme, une somme de 100 millions, la première règle qu'on s'imposerait, serait de n'admettre au bénéfice de l'escompte que des valeurs ayant pour origine l'emploi d'engrais d'une qualité reconnue et d'une efficacité certaine. Des considérations de deux ordres décideraient l'admission au bénéfice de l'escompte : la nature des produits vendus, la position commerciale du négociant.

Pour moi, je ne vois à la situation présente d'autres remèdes que celui que je vous indique. Les fumeurs manquant à notre sol, nous ne pouvons qu'exceptionnellement produire de fumier, le régime de notre agriculture s'y oppose. D'un autre côté pourtant, nous sommes appelés à lutter avec le monde entier. Or, pour lutter, il faut que nous abaissions nos prix de revient; c'est une nécessité et je vous ai montré à quelle condition on peut en venir à bout.

Quant à ceux qui doutent de la fécondité de ce grand principe de la liberté commerciale, destiné à établir entre tous les peuples une sorte de solidarité et de dépendance, entrevues vaguement par les économistes du

Digitized by Google

siècle dernier et mises dans un jour si éclatant par les faits contemporains, à ceux dont l'esprit doute, je pourrais citer l'histoire de l'Angleterre et faire ressortir tous les avantages qu'elle a recueillis de l'application de ce principe nouveau. Mais l'exemple tiré de l'Angleterre soulève habituellement des contestations que je veux éviter; j'aime mieux vous raconter le spectacle vraiment extraordinaire auquel je viens d'assister, la transformation agricole que l'Égypte subit en ce moment.

Si je vous disais que la guerre d'Amérique a plus fait pour la prospérité de l'Égypte, pour son progrès social et matériel que le gouvernement de Mehemet-Ali, j'aurais l'air d'avancer un audacieux paradoxe, ou une de ces propositions à effet, qu'il est impossible de justifier. Voici pourtant ce que j'ai vu de mes yeux et constaté par moi-même.

Lorsque la sécession eut levé l'étendard de l'indépendance en Amérique, le prix du coton monta outre mesure; ce qui valait 100 francs en valut 500 à 600. L'Égypte est le pays de la stabilité, rien n'y change; le fellah d'aujourd'hui est le fellah du temps des Pharaons; même costume, mêmes mœurs, même alimentation, même caractère singulier; adroit, patient, peu travailleur le fellah est toujours le même homme, peu enclin à l'enthousiasme et difficile à entraîner. Adonné de temps immémorial à la culture du blé, de l'orge et des fèves; rien n'aurait pu faire pressentir le changement qui allait s'opérer. Mais ce que ni les ordres du gouvernement, ni le fanatisme religieux n'auraient pu obtenir, la hausse du coton l'a produit comme par enchantement.

Devant la proposition d'un bénéfice qu'il aurait à peine osé imaginer, le fellah s'est mis à semer du coton, timidement d'abord; mais comme le prix était très-élevé dès la première année, la récolte s'est élevée à 3000 ou 4000 francs par hectare, ce qui, en beaucoup de points, représente deux fois la valeur du fonds.

Dès la seconde année, l'Égypte devint un champ de cotonniers. — Les bénéfices étaient énormes; c'était la fièvre de l'or sous une nouvelle forme.

Le froment, qui autrefois valait en moyenne 10 francs l'hectolitre, atteignit les prix sans précédents de 35 et 40 francs.

Par un effet de cette solidarité, de cette dépense dont je parlais tout à l'heure, les provinces méridionales de la Russie s'émurent à leur tour, et expédièrent en toute hâte des blés vers ce pays qui, naguère leur rival sur les marchés de l'Europe, leur offrait, par une transformation soudaine, un centre de consommation considérable.

Mais, en 1863, arrive une nouvelle sinistre : on apprend que dans la haute Égypte une épizootie vient de se déclarer; c'est par centaines, par milliers que tombent les bœufs, les buffles.

Que va-t-on devenir sans animaux pour labourer la terre? le prix du coton monte toujours, l'or est là qui tente le fellah. Que faire? Le grand magicien de l'offre à la demande va triompher de ce nouvel obstacle.

Les Anglais sont gens pratiques et avisés. L'Égypte est une terre d'alluvion, partout unie et plane comme la surface d'un lac; c'est la terre prédestinée pour la charrue à vapeur. Les Anglais l'eurent bientôt compris, aussi se hâtèrent-ils d'expédier des cargaisons de charrues à vapeur, de pompes à feu, enfin un outillage formidable destiné à faire tous les travaux des champs.

Ces machines étaient grossières, mal construites, on les vendait à des prix énormes, détail que tout cela, à leur aide on faisait du coton, et le coton payait tout.

J'ai vu, de mes yeux, des centaines, des milliers d'hectares arrosés par des pompes à feu, labourées de jour et de nuit par des charrues à vapeur. La saison commande, la perspective du profit surexcite le zèle, la vapeur ne connaît ni trêve ni repos, la culture du coton s'étend toujours.

Voulez-vous que nous fixions par quelques données statistiques ce qu'a valu à l'Égypte cette transformation?

En 1860, la culture du coton commence, cependant, on exploite encore les céréales, on en fournit à l'étranger pour 20 millions, mais on récolte pour 25 millions de coton.

En 1861, on n'ose pas abandonner les céréales, on en exporte pour 29 millions; l'exportation du coton monte à 37 millions.

Arrive 1862; cette année-là, il y a pour 26 millions de céréales, le coton s'élève à 100 millions.

Quand se produit l'épizootie, il n'y a plus moyen de faire marcher de pair les céréales et le coton; tandis que les céréales et les autres graines alimentaires ne figurent plus à l'exportation que pour 20 millions, celle du coton monte à 168 millions.

En 1864 enfin, il n'y a plus que pour 2 millions de céréales; l'Égypte eût été affamée si nous ne lui avions pas envoyé nos farines; mais elle a produit pour 262 millions de coton!

Voilà, messieurs, ce qui arrive du régime de la liberté commerciale. C'est le seul moyen de progrès, de prospérité, pour l'industrie et pour l'agriculture, parce que c'est le seul moyen de rendre à l'homme sa dignité. En bannissant le mensonge des droits protecteurs, on obtient selon ses peines, selon ses risques, selon son travail.

La liberté commerciale est à mes yeux le plus grand instrument de progrès auquel il faut nous rattacher. Aussi dirai-je aux agriculteurs, et je voudrais que ma voix pût être entendue de tous : Soyez calmes, présentez-vous avec confiance devant l'enquête, demandez l'émancipation de l'agriculture sous le rapport du crédit, afin de pouvoir lutter à chances égales!

Et quant à nous, messieurs, qui comptons parmi les favorisés de ce monde, nous qui avons en partage l'éducation, la fortune à des degrés divers, dans ce moment d'épreuve que traverse notre pays, nous avons aussi un

Digitized by Google

devoir à remplir : c'est de faire comprendre à l'agriculteur, au petit cultivateur, les avantages qu'apporte avec elle la liberté commerciale. Aussi vous demanderai-je, avant de nous séparer, de confondre nos sentiments dans un seul et même vœu : le maintien de cette liberté et le triomphe de la cause agricole, c'est-à-dire de son émancipation devant le crédit, car derrière cette cause il y a la fortune, la prospérité, et dans une certaine mesure, la puissance à venir de notre pays.

GEORGES VILLE.

CONFÉRENCES SCIENTIFIQUES DE BORDEAUX.

M. JEANNEL.

(professeur à l'École de médecine).

Des erreurs vulgaires au sujet de la médecine.

Mesdames, messieurs,

Alfonse II, seigneur de Ferrare, devisant un jour avec ses amis, on agitait la question de savoir quel était le corps d'état le plus nombreux. Les bureaux de statistique n'étant pas encore inventés, chacun donnait son avis au hasard. — Ce sont les boulangers disait l'un, ce sont les tailleurs, les pâtissiers, les taverniers, disaient les autres. — Comme le bouffon écoutait en silence : quel est ton avis là-dessus, Julio? lui dit son maître. — Pour moi, monseigneur, je pense que la profession exercée par le plus grand nombre de bourgeois dans la bonne ville de Ferrare, c'est la profession de la médecine. — Tout le monde de rire, car on savait bien qu'il n'y avait alors à Ferrare qu'une vingtaine de médecins. — Vous croyez que je plaisante, continua Julio, eh bien ! j'offre à Son Altesse de parier 500 écus d'or que, demain soir, elle tombera d'accord avec moi que Ferrare a plus de médecins que de tous autres gens. Le duc accepte gaiement le pari. Le lendemain Julio sort du palais la mâchoire enveloppée de linges, soutenant sa tête de ses deux mains et poussant des soupirs étouffés. Il rencontre le duc de Montefeltri, l'un des familliers d'Alfonse II : — Ah, mon Dieu ! mon pauvre garçon, te voilà dans un triste équipage. — Seigneur duc, je souffre cruellement d'une douleur d'oreille. — Une douleur d'oreille ! tu te seras exposé à quelque courant d'air ; la même chose est arrivée l'autre jour à la nourrice de la duchesse ; je l'ai guérie incontinent ; il te faut verser dans l'oreille un peu d'huile de lis et te couvrir la tête d'une bonne fourrure de martre. — Ah ! que je vous suis obligé, répond Julio d'un air dolent, auriez-vous la bonté d'inscrire cela sur mes tablettes ; peut-être l'oublierais-je. — Il fait le tour de la ville et recueille ainsi plus de cinquante recettes, écrites et dûment signées. Enfin il rentre au palais et va se montrer au duc de Ferrare, en redoublant ses plaintes et ses gémissements. Le duc tombe aussi dans le piége et donne obligeamment sa consultation. Alors, rejetant la mentonnière dont il s'était emmitouflé, et vous aussi, monseigneur, vous êtes médecin, s'écrie-t-il, j'ai votre ordonnance ; j'ai celle du duc de Montefeltri et celle du duc d'Urbin, en voici cinquante qu'on m'a données depuis une heure. Tous ces nobles personnages, tous ces bourgeois dont voici les noms, ne sont pas des boulangers, ni des pâtissiers, ni des taverniers, ni des tailleurs, ce sont des médecins ; le duc de Montefeltri, médecin ! le duc d'Urbin, médecin ! et vous-même, médecin ! tout le monde est médecin ; j'ai gagné mon pari.

Messieurs, je ne doute pas que les choses ne se passent à Bordeaux maintenant, comme autrefois à Ferrare, et j'oserais proposer une variante à la définition de l'homme que nous a laissée Beaumarchais : boire sans soif... et tâcher de guérir son semblable, voilà ce qui le distingue des autres bêtes.

En somme, tout le monde ici est plus ou moins médecin. Eh bien ! consulter entre confrères, sur les erreurs que nous pouvons commettre dans l'exercice de notre art, est chose utile et point inopportune.

L'instinct des animaux les avertit de ce qu'ils ont à faire lorsqu'ils sont malades : s'ils ont soif, ils boivent ; s'ils n'ont pas faim, ils ne mangent pas ; fatigués, ils se reposent ; ils parviennent ainsi à se secourir eux-mêmes dans une certaine mesure. Chez l'homme, l'instinct est oblitéré par des facultés supérieures, par l'intelligence ; mais ces facultés ne remplacent utilement l'instinct qu'à la condition d'être cultivées et perfectionnées par l'attention, par l'étude, par le travail. Lorsque son intelligence manque de culture il est ignorant ; alors il est incapable de juger sainement de ce qui se passe autour de lui. Regarder attentivement exigerait un effort, une certaine persévérance, un travail intellectuel, il préfère inventer des fables et des merveilles, imaginer des théories et des hypothèses, et ne rien vérifier, ne rien approfondir. C'est ce que nous exprimons en disant que l'imagination prend la place de l'observation.

Ainsi une théorie imaginée par les Orientaux admet l'harmonie universelle, par suite de laquelle le bien compense le mal, tout poison doit avoir son antidote naturel, toute maladie son remède. La conséquence de cette théorie est la composition d'une sorte d'encyclopédie portative et ingurgitable de tous les antidotes et de tous les médicaments. La recette de cette panacée merveilleuse, trouvée par Pompée dans la tente de Mithridate, devient le plus précieux trophée de sa victoire. Il l'apporte à Rome et la fait chanter en vers par Damocrate son médecin sous le nom de *mithridate*. Un siècle plus tard, Néron qui avait bien quelques raisons pour se défier des poisons, charge Andromaque son médecin de la perfectionner ; enfin, Galien de Pergame, venu à Rome en 165, et médecin de Marc-Aurèle, la décrit sous le nom de *thériaque*, qui lui est resté (θηρίον, bête sauvage ou venimeuse). Elle contient soixante-neuf spécifiques différents.

Pendant de longs siècles, Venise eut le privilége de vendre au monde entier cette drogue fameuse ; les magistrats la faisaient préparer chaque année solennellement. Plus tard, à Paris, la fabrication de la thériaque était considérée comme une affaire publique, et le collége des apothicaires y procédait en grande cérémonie.

Vers la fin du siècle dernier elle était encore en vogue. Écoutez ce qu'écrivait le célèbre Bordeu :

» Andromaque, médecin de Néron, fit un assemblage énorme » de toutes sortes de drogues. On ne sait quel génie le con- » duisit dans cette composition monstrueuse qui dure encore » et qui durera toujours, qui toujours sera l'écueil de tous » les raisonnements, de tous les systèmes, et qu'on ne bannira » jamais : elle est, pour ainsi dire, suivant le cœur, suivant » l'instinct, ou suivant le goût de tous les hommes..... Elle » réussit dans mille cas qui semblent opposés, parce qu'elle » a mille côtés favorables à la santé ; elle réunit, pour ainsi

Digitized by Google

» dire, tous les goûts possibles de tous les estomacs. » Vous le voyez, c'est toujours la théorie de l'harmonie universelle.

L'enthousiasme de Bordeu semble terminer la carrière de la panacée de Mithridate; en 1769, un médecin de Paris nommée Girault, manque de respect à la thériaque dans un poëme héroï-comique, intitulé *La thériacade*, et depuis elle perd son prestige à mesure qu'on cherche à déterminer par expérience les conditions de la vie, et qu'on s'applique à mesurer l'action des spécifiques sur l'organisme vivant. Aujourd'hui, la thériaque est considérée comme un médicament narcotique et fortifiant : narcotique, en raison de l'opium dont elle contient 5 centigrammes pour 3 grammes, fortifiant, en raison de l'oxyde de fer et surtout des aromates qui y prédominent, et personne ne la prescrit plus. Nous sommes loin, comme vous voyez, de l'antidotisme universel qu'elle a pourtant réalisé pendant vingt siècles.

D'ailleurs, beaucoup d'autres théories enfantées par l'imagination ont produit bien d'autres remèdes. Voici l'énumération qu'en faisait Bichat au commencement de ce siècle : « On » créa des *désobstruants* quand la théorie de l'*obstruction* était » en vogue. Les *incisifs* naquirent de la théorie de l'*épaississement des humeurs*. Les expressions de *délayants*, *atténuants*, » furent mises en avant à la même époque. Quand il fallut en» velopper les *âcres* on créa les *incrassants*, etc.; ceux qui ne » virent que *relâchement* et *tension* des fibres dans les maladies » employèrent les *astringents* et les *relâchants*. Les *rafraîchis*» *sants* et les *échauffants* furent mis en usage, surtout par » ceux qui eurent spécialement égard dans les maladies à » l'excès ou au défaut de calorique. *Désobstruant* pour l'un, » *relâchant* pour un autre, *rafraîchissant* pour un troisième, » le même médicament a été tour à tour employé dans des » vues toutes différentes et mêmes opposées, tant il est vrai » que l'homme marche au hasard quand le vague des opi» nions le conduit. »

J'ajoute les *calmants*, les *antiphlogistiques*, les *tempérants* et les *émollients*, expressions favorites de la doctrine dite *physiologique* de Broussais, qui rapporte toutes les maladies à l'*irritation* et à l'*inflammation;* les *sthéniques* et les *asthéniques* répondant à l'*incitabilité* brownienne, et les *contro-stimulants* au *stimulus* de Rasori; nous aurons encore les *spécifiques* et les *substitutifs* produits par la doctrine féconde de la *spécificité* à laquelle se rattache le grand nom de Bretonneau; il ne restera plus qu'à citer l'*homœopathie* pour compléter la nomenclature des théories inventées par l'imagination des hommes au sujet de l'art de guérir.

Voilà ce que les esprits cultivés ont produit en s'efforçant de deviner par intuition ce qu'ils ne pouvaient découvrir que par l'observation attentive des objets extérieurs, c'est-à-dire par l'expérience, par la méthode expérimentale.

Voyons maintenant ce qu'a fait l'ignorance grossière privée des lueurs naturelles de l'instinct et s'égarant dans les ténèbres, à la recherche des moyens de conjurer la douleur, la maladie et la mort.

L'absurde collection de remèdes populaires que Pline nous a conservée n'a pas duré moins longtemps que la thériaque. L'homme, animal par excellence, est lui-même le remède par excellence; ses organes, ses déjections, sont employés contre toutes sortes de maladies. Les vapeurs de cheveux brûlés guérissent l'hystérie et l'épilepsie. Les ongles râpés sont vomitifs, purgatifs, fébrifuges. La poudre de crâne humain arrête les flux de sang et guérit l'épilepsie; mais le crâne ordinaire qu'on peut ramasser dans les cimetières ne vaut rien, il faut que l'homme soit mort de mort violente afin que le crâne ait conservé les esprits animaux. La graisse humaine, la graisse de pendu, décorée du nom de graisse philosophique, *oleum philosophicun*, guérissait les rhumatismes de nos pères. Le sang humain était un remède héroïque : les Romains, ceux-là même qui applaudissaient Cicéron et qui savouraient les grâces de Virgile et d'Horace, buvaient à pleines coupes le sang chaud des gladiateurs pour se guérir de la consomption et de l'épilepsie. L'horrible expression, *se baigner dans le sang*, n'a pas toujours été figurée; les rois d'Égypte atteints d'éléphantiasis prenaient des bains de sang humain.

J'abrége l'énumération de ces ignominies. Mais je ne puis me dispenser de mentionner un traité qui les dépasse, et qui met le comble aux plus révoltantes aberrations de l'esprit humain, c'est la *pharmacopée stercorale* de Paulini, publiée à Franckfort en 1696, et qui rapporte les usages médicinaux des excréments de cinquante espèce d'animaux.

Il faut arriver jusqu'au XVIIIe siècle pour trouver contre ces horreurs un commencement de réaction. Pauli publiait à Leipzig, en 1721, un ouvrage *De medicamentis e corpore humano desumptis merito negligendis*, des *médicaments tirés du corps humain qu'on devrait abandonner*. Mais les progrès sont lents, l'huile de petits chiens et de vers de terre, l'album græcum, etc., se retrouvent dans des pharmacopées qui portent la même date que les ouvrages de Bichat et de Laennec.

Assurément les classes éclairées ont maintenant oublié ces étranges moyens de rétablir la santé de l'espèce humaine, mais tout cela continue dans les bas-fonds populaires. Les gens de la campagne, nos propres serviteurs, emploient contre les contusions, contre les fièvres intermittentes, contre les ophthalmies, un remède économique que je n'ose nommer ici; le même spécifique dont on se lave la tête a la vertu de faire pousser les cheveux. Qui ne connaît les cataplasmes de bouse de vache et la peau toute chaude de mouton fraîchement écorché dont s'enveloppent les rhumatisants? Et la poudre de hérisson torréfié? Demandez aux médecins militaires de quel contre-poison se servent les Chinois. Enfin, voyez, ce morceau de cire à cacheter que je vous présente, un de mes amis le gardait dans sa poche comme préservatif de certaines hémorrhagies.

D'où viennent toutes ces croyances, toutes ces superstitions bizarres et absurdes que l'homme accepte avec une inconcevable facilité, précisément au sujet de ce qui le touche de plus près : la conservation de sa santé et de sa vie? Voilà ce qu'il s'agit d'examiner.

Constatons d'abord que la crédulité des hommes est en raison de leur ignorance, et que l'instruction, vraie source de leur dignité, est aussi la condition de leur affranchissement.

Au sujet de la médecine, outre la cause générale que nous avons trouvée dans la tendance à imaginer, à deviner, à raisonner au lieu d'observer attentivement, les erreurs et les faux jugements ont des causes particulières qu'il importe de rechercher et d'étudier.

La première de toutes est dans les observations mal faites. L'observation des faits les plus simples exige un certain degré d'attention, une certaine éducation des sens. Les choses qui se sont passées en plein soleil et qui ont été vues par cent témoins sont racontées d'une manière différente par chacun

Digitized by Google

d'eux ; et dans les instructions criminelles les magistrats ont besoin d'une expérience particulière et d'une grande perspicacité pour arriver à découvrir la vérité au milieu des dépositions contradictoires ; la difficulté augmente à mesure que les témoins sont plus ignorants.

Les phénomènes délicats et complexes ne sont pas à la portée de la multitude, ils ne peuvent être observés que par des hommes spéciaux qui ont pris de longue main l'habitude de les voir et de les comparer et qui ont appris à se servir des instruments inventés pour aider les sens.

Vous voyez sur cette table une balance de précision sensible à un demi-milligramme, croyez-vous que le premier venu saura s'en servir? Non, il faut pour cela une attention, une patience, une légèreté de main qu'on n'acquiert que par une longue pratique. Ce que je dis de nos balances, je pourrais le dire à bien plus forte raison de la plupart de nos instruments de physique et de chimie.

Eh bien! messieurs, la difficulté de l'observation dans le domaine de la physique et de la chimie est peu de chose en comparaison de ce qu'elle est dans le domaine de la médecine. Là tous les phénomènes sont complexes, ils sont modifiés, impressionnés par une foule de circonstances : l'âge, le sexe, le tempérament, les habitudes, le climat, les saisons, interviennent dans le jugement de chaque cas particulier. La seule exploration des organes, l'auscultation, la percussion, la palpation, demandent plusieurs années d'exercices pratiques. Ce petit tube de bois que nous devons à Leannec et qui nous permet de reconnaître les altérations des organes respiratoires, il faut au moins six mois d'expériences pour apprendre à s'en servir; les bruits qu'il permet d'apprécier et de comparer entre eux sont si légers qu'ils échappent complétement à l'oreille inexpérimentée d'un apprenti.

Les observations médicales sont donc extrêmement difficiles, et l'on comprend qu'elles soient très-souvent inexactes et qu'elles entraînent des jugements erronés.

La seconde cause d'erreur est le faux raisonnement qui confond le simple rapport de succession avec le rapport de cause à effet, c'est ce faux raisonnement qu'on appelle en rhétorique *post hoc ergo propter hoc*. Une calamité publique, une épidémie meurtrière, la perte d'une bataille, ont succédé à une éclipse de soleil; le *post hoc* nous persuade que l'éclipse est cause des événements qu'elle a seulement précédés. Dans le domaine médical, la séduction augmente lorsque l'esprit a eu en vue le résultat qui s'est produit; lorsqu'un remède par exemple a été administré dans le but d'obtenir la guérison d'un mal et que la guérison a eu lieu, il nous est difficile de résister à la tentation d'admettre entre le remède et la guérison un rapport de cause à effet, tandis qu'en réalité rien ne prouve qu'il y ait entre eux autre chose qu'un simple rapport de succession. Cela devient évident, si l'on réfléchit qu'un grand nombre de maladies guérissent spontanément par les seules forces de la nature, et que le repos, la diète, des boissons plus abondantes qu'à l'ordinaire, un sommeil prolongé, une transpiration inaccoutumée, un flux de sang, etc., dont on ne tient aucun compte, sont de puissants mortificateurs de l'organisme, les plus puissants de tous, qui ont pu agir favorablement, indépendamment du remède et même malgré lui.

La troisième cause d'erreur au sujet de la médecine est dans la difficulté de bien faire des additions. Comment! me direz-vous, la première règle de l'arithmétique n'est pour rien dans la médecine.

Messieurs, le nombre est le principal instrument de l'intelligence, nos déterminations, nos jugements, se fondent sur la comparaison des faits bien ou mal observés, et cette comparaison, pour être intuitive, pour être exécutée le plus souvent de tête, comme on dit, c'est-à-dire par le seul effort de notre esprit, n'en a pas moins le nombre pour origine. Si nous ne pensions pas que les faits observés indiquent un tel sens, nous nous déterminerions nécessairement vers le sens opposé; nous faisons de l'arithmétique sans le savoir, comme M. Jourdain faisait de la prose.

Eh bien, je dis que ces opérations qui sont au fond de tous nos jugements sont extrêmement compliquées. La difficulté n'est pas dans l'addition elle-même, elle est dans le choix des valeurs qui peuvent être admises à former les sommes.

Un jour à Constantinople j'ai remis à mon domestique une certaine quantité de monnaies de toutes sortes de pays, qui ont cours sur la place, et je l'ai envoyé au marché : ignorant la valeur réelle de toutes ces monnaies, il les livrait aux marchands selon la ressemblance qu'elles pouvaient avoir avec les pièces françaises. Incapable d'apprécier exactement des valeurs résultant du titre plutôt que du poids, du volume et de la couleur, il avait décidé la question en artiste, par intuition, par la seule puissance de sa mémoire. Je reconnus bien vite qu'il me fallait faire mes emplettes moi-même, et encore dois-je avouer que je n'ai pas toujours su échapper à des erreurs de calcul.

L'erreur est incomparablement plus facile à commettre dans les additions, lorsque les valeurs partielles sont des faits vivants, car on risque extrêmement de former la somme avec des unités de nature diverse.

Vous voyez, messieurs, de quelles précautions minutieuses il faut s'entourer pour découvrir et reconnaître l'action des remèdes, et vous allez comprendre quelles difficultés l'intervention de la vie introduit dans les questions.

La vie est une cause particulière de mouvement, différente de l'attraction et de l'affinité chimiques, qui détermine par intussusception des organismes, c'est-à-dire des agrégats temporaires de molécules matérielles, dont les diverses parties sont solidaires, qui réagissent contre l'attraction, modifient l'affinité chimique, s'entretiennent par un mouvement continu d'assimilation et de désassimilation nommé nutrition, et se reproduisent par génération.

Lorsque nous considérons la vie ou la force vitale comme en lutte avec les causes de destruction de l'organisme, nous l'appelons force médicatrice, mais ce n'est pas à dire que la force médicatrice soit différente de la force vitale.

Qu'un poison soit injecté dans les veines, un travail organique commence aussitôt pour l'éliminer. Ce travail exige-t-il la mise en jeu d'une activité spéciale? Non. Le poison est éliminé comme toutes les molécules inutiles que l'assimilation remplace par des molécules nouvelles, et par les mêmes appareils d'excrétion; quant au procédé d'exécution, c'est le travail de désassimilation lui-même. La force médicatrice ne diffère donc pas de la force vitale qui règle et maintient l'ensemble harmonieux des fonctions, de cette force qui augmente la combustion respiratoire, afin de produire plus de chaleur qu'à l'ordinaire dès que l'organisme est plongé dans un milieu plus froid, et contrebalance les effets d'un milieu plus chaud par un surcroît d'évaporation.

C'est la force médicatrice qui cicatrise les plaies, consolide les fractures et répare ces désordres plus ou moins funestes

Digitized by Google

qui sont les maladies de l'organisme vivant. Seulement elle ne suffit pas toujours à sa tâche, et le rôle du médecin est de la secourir. Mais l'erreur est très-facile à commettre sur la question de savoir quelle part dans la guérison revient à la force médicatrice, quelle part à la médecine. Ambroise Paré témoignait sa réserve à cet égard lorsqu'il disait : *Je le pansai Dieu le guérit.* La vie qui persiste, *vita superstes*, comme dit Boerhaave, est la condition première de la cure. Vous voyez combien les éléments de nos additions, c'est-à-dire de nos jugements, sont difficiles à choisir et à poser.

Je trouve une quatrième source de nos erreurs dans la généralisation anticipée. J'entends par là un faux raisonnement qui consiste à juger de l'ensemble des faits par un fait particulier ou par un trop petit nombre de faits dont on a été témoin. C'est la faute du voyageur d'Elbeuf : il arrive dans la ville d'Elbeuf au point du jour; les habitants sont plongés dans le sommeil; les rues sont désertes. Il descend de voiture et fait quelques tours de promenade sur la place, attendant avec impatience le moment de voir et de juger la population. Un petit nègre boiteux et bossu vient à passer. Aussitôt notre touriste inscrit sur ses tablettes : « Visité la ville d'Elbeuf, en Normandie; tous les habitants sont nègres et contrefaits. » Puis il remonte en voiture et va continuer à Louviers ses observations.

C'est la généralisation anticipée avec la complicité du *post hoc* qui produit toutes les panacées merveilleuses, tous les secrets de famille, toutes les recettes infaillibles; c'est elle qui nous inflige journellement, de la part des gens les plus respectables, le récit longuement circonstancié de leur propre guérison démontrant l'efficacité d'un certain médicament. C'est encore la généralisation anticipée qui a inventé d'innombrables spécifiques contre la rage, l'épilepsie, le cancer, les scrofules, la phthisie, etc.

Mais c'est dans les grands nombres contrôlés avec les soins les plus minutieux que les médecins jaloux des progrès de la science recherchent la solution des questions de théapeutique. J'en prends un exemple au hasard dans l'ouvrage de M. Gintrac (1). Il s'agit de savoir si l'extrait de belladone est un préservatif efficace de la scarlatine, comme l'avait affirmé Hanhemann et quelques auteurs après lui (2). Vous allez voir quelle est l'étendue de l'espèce d'enquête à laquelle s'est livré le savant auteur de ce livre pour arriver à la découverte de la vérité sur ce points. Résultats négatifs :

Lehmann, épidémie de Torgau, en 1825 (3).
Rieken, en 1825 (4).
Mierendorf, épidémie de Stralsund, en 1827 (5).
Vogler, épidémie du duché de Nassau, en 1829 (6).
Distribution de belladone par un anonyme, en 1832 (7).
Lichtenstaedt, épidémie de Saint-Pétersbourg, en 1835 (8).
Lameire, épidémie d'Avelghem, en 1843 (1).
Debourge, épidémie d'Anvers, en 1843 (2).
Legroux, épidémie de Paris, en 1849 (3).
Cheston Morris, épidémie de Philadelphie, en 1857 (4).

Depuis cette époque l'inefficacité de la belladone, comme préservatif de la scarlatine, est considérée comme suffisamment démontrée.

En résumé, dans le domaine des sciences naturelles et en particulier dans celui de la médecine, l'imagination ne peut jamais remplacer l'observation.

Les causes principales de nos erreurs sont les observations mal faites, le faux raisonnement qui nous entraîne à confondre le simple rapport de succession avec le rapport de cause à effet, l'inexacte supputation des nombres et la généralisation anticipée.

Enfin, messieurs, il est un argument sans réplique, une raison dont je n'ai pas encore parlé, une raison cruelle et péremptoire qui remet en question l'efficacité de la science et qui ruine incessamment son crédit; cet argument, cette raison, seront fournis par chacun de nous, le jour de la dernière et de l'inévitable catastrophe de notre vie, qu'on ne manquera pas de reprocher à l'impuissance de la médecine.

J. Jeannel.

(1) Voy. *Cours théorique et clinique de pathologie interne et de thérapie médicale*, t. IV, p. 380.
(2) Voy. le détail des faits affirmatifs, ouvr. cit., t. IV, p. 378.
(3) *Bull. des sc. méd.* de Férussac, t. XI, p. 78. — *Journ. des progrès*, t. VI, p. 253. — *Archives*, t. XVI, p. 136.
(4) *Journ. de méd. de Bruxelles*,, 1843, p. 275.
(5) Barth, *De belladonæ scarlatine præsidio*. Lipsiæ, 1827. — *Journ. des progrès*, p. 231.
(6) *Heidelberg klinisch Annalen*, etc. -- *Bull. des sc. méd. de Férussac*, t. XX, p. 248.
(7) Miquel, *Rapport de Girardin à l'Acad. de médecine* (*Gaz. méd. de Paris*, t. II, p. 651. — Guersent, *Ibid.*
(8) *Journ. des sc. méd. de Bruxelles*, 1843, p. 85.

BULLETIN DES COURS.

Institution royale de la Grande-Bretagne.

LECTURES DU VENDREDI SOIR (*conférences scientifiques*).
— Première série. —

M. le professeur Tyndall. — De la chaleur rayonnante dans ses rapports avec la couleur, la constitution chimique et la condition mécanique. Cette conférence a été publiée dans le n° 14 (3 mars 1866) de la *Revue*.

M. Archibald Smith, esquire. — De la déviation de la boussole dans les vaisseaux de fer.

M. H. James. — Sur l'inspection de l'artillerie de Jérusalem.

M. William Pengelly, esquire. — Sur la caverne de Kent, Torquay.

M. John Lubbock. — Les métamorphoses des insectes.

M. Balfour Sewart, esquire. — Sur l'existence d'un milieu éthéré remplissant l'espace.

M. le docteur Bence Jones. — Sur l'existence dans les tissus animaux d'une substance fluide ressemblant à la quinine.

Ces conférences seront publiées dans la *Revue des cours scientifiques* avec le concours des éminents professeurs.

Les lectures du vendredi soir, interrompues pour les fêtes de Pâques, seront reprises le vendredi 18 avril, et continuées, sans interruption, jusqu'au 8 juin suivant. — Parmi les conférenciers qui se feront, très-probablement, entendre après Pâques, nous pouvons citer, dès à présent, MM. le professeur du Bois-Reymond (de l'Université de Berlin), Alexandre Hirschell, esquire; le rév. C. Pritchard, le professeur Ansted, le professeur Roscoe et le professeur Frankland.

N. B. Les lectures du vendredi soir sont exclusivement réservées aux membres de l'*Institution*, qui peuvent amener chacun une personne.

(1) *Journ. des sc. méd. de Bruxelles*, 1843, p. 439.
(2) *Journ. de méd. d'Anvers*, 1843. — *Bullet. de thérap.*, t. XXIV, p. 303.
(3) *Union méd.*, 1850, p. 219.
(4) *American med. Journ.* 1857, avril, p. 335.

Le propriétaire-gérant : Germer Baillière.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE NUMÉRO 18 31 MARS 1866

Paris, 23 mars 1866.

Parmi les diverses communications faites lundi dernier à l'Académie des sciences, nous signalerons particulièrement la présentation de nouvelles photographies stéréoscopiques de taches du soleil par M. Faye, une note sur la réfraction dans l'atmosphère solaire et un travail relatif au bouquet et à la coloration des vins.

M. Trécul a été élu membre de l'Académie dans la section de botanique par 39 voix sur 54 votants. M. Chatin a obtenu 14 suffrages. E. A.

SOIRÉES SCIENTIFIQUES DE LA SORBONNE.

CONFÉRENCE DE M. PELIGOT
(de l'Institut).

De l'air.

Mesdames et messieurs,

En prenant pour sujet de cette conférence l'étude de l'air, je ne me suis pas proposé de revenir sur des questions déjà traitées dans cette enceinte par des professeurs éminents. Je ne parlerai donc pas des propriétés physiques de l'atmosphère gazeuse qui nous environne. Je laisserai de côté sa composition chimique, l'étude des phénomènes de la vie, de la combustion vive ou lente, qui sont dus à l'un des éléments qu'il renferme. Il m'a semblé que les connaissances chimiques sont aujourd'hui assez répandues pour qu'il soit permis d'aborder devant vous un point circonscrit de la science. J'ai lu quelque part qu'un académicien du siècle dernier, chargé d'enseigner l'algèbre à l'un des enfants de France, disait à son élève, un peu découragé par les formes arides de cette étude : « Monseigneur, il n'y a pas de routes royales » pour l'algèbre. » Ces routes, bien qu'elles aient changé de nom, existent désormais pour la chimie ; inaugurées à la fin du siècle dernier par Fourcroy, elles ont été continuées avec grand succès, et dans ces lieux mêmes, par Thenard, par M. Dumas et par d'autres professeurs illustres. Mais à côté de ces voies de grande communication, il y en a d'autres moins fréquentées, des chemins de traverse, si vous voulez. C'est un de ces chemins que nous prendrons aujourd'hui pour aller à la découverte de quelques points de vue, de quelques horizons nouveaux qui échappent à la foule et qui, bien qu'un peu délaissés par l'enseignement classique de la chimie, obligé qu'il est de se concentrer sur les points les plus essentiels de la science, n'en présentent pas moins pour l'observateur attentif un très-réel intérêt.

En conséquence, laissant de côté la composition de l'air en ce qui concerne ses principaux éléments, c'est-à-dire l'azote, l'oxygène et l'acide carbonique, je me propose d'appeler votre attention sur quelques-uns des corps qu'on y trouve en petite quantité. Ces corps sont notamment l'ozone, l'iode et certaines matières minérales qu'il renferme ou qu'il peut renfermer accidentellement.

Je rappellerai néanmoins en quelques mots ses principales propriétés. L'air atmosphérique est la masse gazeuse qui enveloppe notre globe et qui l'accompagne dans sa marche régulière dans l'espace. La hauteur de cette masse gazeuse est de 50 à 60 kilomètres. Son poids est énorme ; d'après Marchand, il serait représenté par 5 263 623 000 000 000 000 kilogrammes ; d'après M. Dumas, ce poids ferait équilibre à 581 000 cubes de cuivre, chacun de ces cubes ayant 1 kilomètre de côté.

Ses principales propriétés physiques, notamment sa pesanteur, sont connues depuis deux siècles. La connaissance de ses propriétés chimiques principales remonte à moins d'un siècle. C'est, en effet, en 1774, que Lavoisier démontra que l'air est composé de deux gaz doués de propriétés différentes, presque opposées, l'azote et l'oxygène. Cette année 1774 est une date à jamais mémorable dans l'histoire des sciences, des arts et de la civilisation. Si la composition de l'air nous était inconnue comme elle l'était à nos pères, si elle ne nous avait pas été révélée par Lavoisier, personne ne peut affirmer que les grands progrès scientifiques et industriels auxquels nous assistons et dont nous sommes fiers à juste titre, ne seraient pas encore à réaliser.

L'air atmosphérique est presque entièrement composé d'azote et d'oxygène. Dans un mètre cube d'air ou 1000 litres, il y a 792 litres d'azote et 208 litres d'oxygène. Ainsi l'oxygène entre pour un cinquième environ dans la composition de l'air.

En outre, comme éléments essentiels et facilement appréciables, bien qu'en petite quantité, l'air contient

Digitized by Google

de l'acide carbonique et de l'eau à l'état de vapeur.

Il renferme 2 à 3 dix millièmes d'acide carbonique. Ainsi 10 000 litres d'air contiennent 2 à 3 litres d'acide carbonique.

Quant à la vapeur d'eau, sa proportion est essentiellement variable.

De plus, l'air renferme en très-petite quantité de l'ammoniaque provenant de la décomposition incessante des êtres organisés,— de l'iode,— des carbures d'hydrogène, notamment du gaz des marais qui se dégage des eaux stagnantes et des endroits marécageux, — peut-être de l'oxyde de carbone, — en outre, des myriades de corpuscules de nature et d'origine très-diverses, invisibles dans les conditions ordinaires, mais qui se révèlent à nous quand un rayon du soleil pénètre par une fente étroite dans une chambre obscure. Ces corpuscules sont des substances minérales empruntées par le vent au sol et aux vagues de la mer; elles sont maintenues en suspension dans l'air par son mouvement incessant; ce sont aussi des êtres organisés, au nombre desquels se trouvent ces germes des moisissures qui se développent dans les liquides fermentescibles, altérables à l'air et par l'air; germes dont l'existence, révélée par M. Pasteur, a réduit à néant l'hypothèse si longtemps controversée des générations spontanées.

En dehors de ces corps, déjà fort nombreux, il en existe certainement d'autres qui nous échappent, en raison de leur petitesse et de l'imperfection, encore très-grande, des moyens d'investigation que nous possédons en ce qui concerne l'étude des mélanges gazeux. Il ne faut pas l'oublier : de même que l'eau, en contact avec la terre, agit comme dissolvant sur tous les produits solubles qu'elle renferme, produits qui se retrouvent en si grand nombre dans l'eau des mers, de même l'air est le milieu dans lequel se réunissent toutes les substances gazeuses ou volatiles qui existent ou qui se produisent soit dans les grands phénomènes géologiques et météorologiques, soit dans les actions qui président à la vie des êtres organisés ou qui s'accomplissent après leur mort. A ces substances viennent s'ajouter celles qui résultent des actions chimiques mises en jeu, dans les opérations métallurgiques qui ont pour objet la séparation des métaux de leurs minerais, et dans la fabrication de différents produits industriels. Ainsi la production du coke, le grillage des minerais sulfurés, la fabrication du sulfate de soude, jettent dans l'atmosphère des quantités considérables d'oxyde de carbone, de carbures d'hydrogène, d'ammoniaque, d'acide sulfhydrique, d'acide sulfureux, d'acide chlorhydrique. Mais ces causes d'altération se trouvent habituellement concentrées dans un rayon assez restreint autour de leurs lieux de production. Ces corps n'existent dans l'air qu'accidentellement; ils se trouvent bientôt anéantis, tant par l'action dissolvante des eaux pluviales, qu'en raison de cette circonstance, que beaucoup de substances gazeuses ne peuvent pas se rencontrer sans que leur mélange donne immédiatement naissance à des combinaisons ordinairement solides et solubles dans l'eau. Ainsi l'acide sulfureux est incompatible avec l'acide sulfhydrique; l'acide chlorhydrique ne peut coexister avec l'ammoniaque, etc.

Aussi, en tenant compte de l'action de l'eau qui balaye l'atmosphère, qui la débarrasse *de ses immondices*, et en même temps de cette incompatibilité des gaz; en se souvenant surtout de cette admirable harmonie naturelle qui rend le règne végétal solidaire du règne animal, les végétaux s'appropriant, par l'entremise de l'air, l'acide carbonique et l'ammoniaque qui résultent de la respiration des animaux ou de leur décomposition après la mort, on arrive à cette conclusion que l'air, pris dans son ensemble, doit se maintenir toujours le même, sous le rapport de sa composition et de ses propriétés, bien que sur certains points cette composition puisse présenter des variations légères, variations plus ou moins appréciables par nos procédés actuels d'investigation.

Ozone.— Au nombre de ces variations, il en est une sur laquelle j'appellerai d'abord votre attention. C'est la modification particulière que subit l'oxygène, l'élément le plus essentiel, l'élément *vital* de l'air, dans des circonstances particulières, encore assez mystérieuses et mal définies.

Un chimiste de Bâle, M. Schönbein, a annoncé, il y a vingt-cinq ans, que l'oxygène qui se dégage au pôle positif de la pile dans la décomposition de l'eau par un courant voltaïque, possède des propriétés différentes de celles de l'oxygène obtenu par d'autres procédés, notamment par la décomposition de l'oxyde rouge de mercure au moyen de la chaleur : on sait que c'est par ce procédé que Lavoisier a séparé à l'état de pureté l'oxygène de l'air atmosphérique. L'annonce de ce résultat ne fut pas accueillie d'abord sans quelque hésitation. L'auteur de cette découverte crut lui-même d'abord à l'existence d'un composé nouveau plutôt qu'à une modification subie par l'oxygène. Il revint plus tard sur cette opinion, et de nombreux travaux ont établi que l'oxygène peut offrir, selon le mode qu'on a suivi pour l'obtenir, une modification profonde tant dans ses propriétés physiques que dans ses propriétés chimiques. Ce fait de l'existence pour le même corps de propriétés différentes avait déjà été constaté pour plusieurs autres corps élémentaires.

A leur tête vient se placer, par droit d'ancienneté, le carbone. A l'état amorphe, le carbone est du charbon, ou du noir de fumée; le charbon est une substance noire, opaque, friable; c'est l'un des corps les plus utiles et les plus communs; à l'état cristallisé, le carbone devient le diamant, l'une des substances les plus rares, et je dirais peut-être les moins utiles, si je ne risquais d'être entendu ici par beaucoup de dames.

Le soufre, dans son état ordinaire, est jaune et friable. Chauffé à une température un peu élevée et refroidi brusquement, il est brun et il est devenu plastique.

Digitized by Google

Selon son mode de préparation, il est tantôt soluble, tantôt insoluble dans divers liquides, notamment dans le sulfure de carbone.

Le phosphore ordinaire est un corps très-combustible, très-inflammable, fusible à une température peu élevée. Maintenu longtemps à la température de 250 à 300°, il perd sa fusibilité; de transparent et incolore qu'il était, il devient rouge et opaque. Il est devenu beaucoup moins combustible. C'est le phosphore rouge, le phosphore amorphe, découvert il y a vingt ans, par M. Schrötter, de Vienne.

Le soufre ordinaire et le soufre mou sont un seul même corps ; il en est de même du phosphore transparent et du phosphore rouge. Le même agent, la chaleur, permet d'obtenir à volonté ces corps sous l'une ou l'autre de ces modifications. Il n'en est pas tout à fait de même, à la vérité, du carbone, que nous ne savons pas encore faire passer de l'état de charbon noir à l'état de diamant; mais ce n'est peut-être qu'une affaire de temps; car déjà avec du diamant nous pouvons faire du charbon noir. M. Jacquelain a montré, en effet, qu'en soumettant le diamant à la température excessive que l'arc voltaïque produit entre deux cônes de charbon, on transforme le diamant en une matière noire, boursouflée, identique avec le coke. Ainsi pour le carbone lui-même, la moitié du chemin est déjà fait; l'autre moitié, c'est-à-dire la transmutation du charbon en diamant, sera peut-être parcourue par nos successeurs.

Ainsi, chacun de ces corps peut se présenter à nous sous une forme différente, avec des propriétés différentes, tout en restant un seul et même corps, donnant naissance, en s'unissant à d'autres corps, à des composés identiques.

L'oxygène présente les mêmes caractères : obtenu par le procédé que je viens de rappeler, ou bien par d'autres méthodes qui consistent à soumettre à une température plus ou moins élevée les substances oxygénées qui peuvent fournir ce gaz, tels que le bioxyde de manganèse et le chlorate de potasse, c'est un gaz sans odeur; l'oxygène provenant de la décomposition de l'eau froide par la pile est odorant, d'une odeur alliacée; de là le nom d'*ozone* qu'on lui a donné.

On l'appelle aussi *oxygène électrisé*, car il se produit surtout sous l'influence de l'électricité. Déjà en 1789, Van Marum, en faisant éclater des étincelles électriques dans des tubes renfermant de l'oxygène, avait constaté la production de cette même odeur alliacée que l'air lui-même présente quelquefois lorsqu'il est traversé par la foudre. Mais l'observation de Van Marum avait été entièrement oubliée jusqu'en 1840, époque à laquelle M. Schönbein fit connaître ses remarquables expériences sur la production de ce corps.

Bien que l'ozone n'ait pas été obtenu jusqu'ici à l'état de pureté, bien que l'oxygène ordinaire ou l'air qui en renferment n'en contiennent pas au delà de 1 à 2 pour 100, sa présence se reconnaît facilement par suite de l'extrême activité chimique dont il est doué. A la température ordinaire, il oxyde le mercure, l'antimoine et même l'argent. Il détruit les composés hydrogénés gazeux, notamment l'ammoniaque qu'il transforme en azotate d'ammoniaque. En présence des alcalis, il se combine avec l'azote atmosphérique et donne naissance à des azotates. Ce fait donne peut-être la clef des phénomènes qui engendrent le nitre dans la nature, phénomènes encore obscurs quoique bien souvent étudiés.

Comme le chlore, l'ozone détruit les matières colorantes végétales. D'après des expériences faites par un botaniste éminent, M. Duchartre, sur la production du lilas blanc dans les serres pendant l'hiver, production qui donne lieu à Paris à un commerce considérable, c'est peut-être à l'existence de l'ozone dans les serres que les touffes de lilas appartenant aux variétés colorées, telles que le lilas de Marly, doivent la propriété de fournir des fleurs blanches quand on les soumet à une culture forcée. L'absence de la lumière ne suffit pas, en effet, pour expliquer cette modification de couleur, pas plus que l'élévation de la température de la serre. Une touffe de lilas dont une partie végète à l'air et l'autre dans la serre, donne des fleurs blanches dans la serre et des fleurs lilas dans la partie exposée à l'air libre.

L'ozone agit aussi à la manière du chlore sur l'iodure de potassium; il met l'iode en liberté en se combinant avec le potassium. L'oxygène ordinaire est sans action sur ce composé.

Il prend naissance dans des conditions assez nombreuses.

1° Par l'action prolongée des étincelles électriques sur l'oxygène; ce gaz n'éprouve qu'une transformation partielle; mais si l'on prend soin de l'absorber par l'iodure de potassium au fur et à mesure de sa production, ainsi que l'ont fait MM. Fremy et Becquerel, la transformation de l'oxygène en ozone est complète.

2° En électrolysant l'eau froide légèrement acidulée.

3° En décomposant à froid le bioxyde de baryum par l'acide sulfurique concentré (procédé de M. Houzeau) ou le permanganate de potasse par le même acide.

4° Par l'oxydation lente et partielle d'un grand nombre de corps. La substance qui donne les meilleurs résultats est le phosphore ordinaire mis en contact avec l'air humide; au bout de quelques minutes, la présence de l'ozone est rendue manifeste par la coloration en bleu du papier ozonométrique de Schönbein. D'après ce chimiste, dans ces oxydations, il se produit aussi une petite quantité d'eau oxygénée, composé fort remarquable découvert en 1818 par notre vénéré maître M. Thenard. Comme l'eau oxygénée se décompose elle-même avec une extrême facilité sous l'influence des substances les plus diverses, il existe une très-grande ressemblance entre les phénomènes produits par ces deux corps; cette ressemblance est telle qu'il est toujours difficile de distinguer la production de l'ozone d'avec celle de

Digitized by Google

l'eau oxygénée; la même confusion se présente en ce qui concerne leur action sur les corps. Il existe évidemment entre l'ozone et l'eau oxygénée une parenté très-étroite. On peut même, d'après M. Schönbein, considérer l'eau oxygénée comme renfermant l'oxygène sous deux états; à l'état d'oxygène ordinaire, il est combiné avec une molécule d'hydrogène pour constituer l'eau, le protoxyde d'hydrogène, corps très-stable; l'autre molécule d'oxygène, unie à l'eau par une affinité très-faible, toujours prête à se séparer de ce corps, serait à l'état d'ozone.

Plusieurs des circonstances dans lesquelles l'ozone prend naissance ont conduit à admettre que ce corps peut exister dans l'air, sinon d'une façon permanente, au moins dans des conditions accidentelles. Ainsi lorsque l'air est fortement chargé d'électricité, lorsqu'il est sillonné par des éclairs nombreux, une faible quantité de son oxygène serait transformée en ozone. Les parties vertes des plantes sous l'influence de la lumière solaire fourniraient de l'oxygène ozoné. Dans les oxydations lentes, si fréquentes à la surface de la terre, une petite quantité de ce corps peut aussi se développer.

M. Schönbein a cherché à mesurer l'ozone atmosphérique en exposant au contact de l'air un papier dit *ozonométrique* qui, par sa coloration bleue plus ou moins intense, permet d'apprécier comparativement la présence ou l'absence de l'oxygène ainsi modifié. L'emploi de ce papier repose sur la propriété que possède l'ozone de décomposer l'iodure de potassium : l'iode qui devient libre, forme avec l'amidon une belle matière colorante bleue. On le prépare en trempant pendant douze heures du papier à lettre déjà collé à l'amidon dans une faible dissolution d'iodure de potassium, contenant 1 partie d'iodure dissoute dans 100 parties d'eau. Ce papier, séché et découpé en petites bandes, est le papier ozonométrique de Schönbein. Il reste incolore dans l'air ordinaire; il bleuit dans l'air plus ou moins chargé d'ozone.

La nuance qu'il présente après une exposition à l'air plus ou moins prolongée est comparée à la coloration de bandelettes de papier teintes d'une manière permanente, à nuances dégradées, numérotées de 0 à 10; la bande n° 0 est incolore; la bande n° 10 est la plus foncée. Mais, il faut le reconnaître, bien que des observations nombreuses aient été faites avec ce papier, les indications qu'il fournit sont considérées par beaucoup de chimistes comme fort incertaines. Beaucoup de corps partagent avec l'ozone la propriété de le bleuir. Tels sont les composés nitreux, les acides, l'eau oxygénée, le chlore, le brome, l'iode, les vapeurs d'huiles essentielles, notamment l'essence de térébenthine (M. Cloez). Or, plusieurs de ces corps peuvent exister accidentellement dans l'air et fournir au papier Schönbein les mêmes indications que l'ozone.

Aussi M. Houzeau, auquel on doit des observations fort intéressantes sur la production de l'ozone fait-il usage d'un papier d'une autre nature. C'est un papier de tournesol rouge vineux, dont la moitié a été trempée dans une dissolution neutre et étendue d'iodure de potassium. Sous l'influence de l'ozone, la partie iodurée, devenant alcaline par suite de la mise en liberté et de la volatilité de l'iode, prend une teinte bleue. La partie non iodurée, conservant sa couleur normale, prouve à l'observateur que la coloration que présente l'autre partie n'est pas due à l'intervention de vapeurs acides ou ammoniacales qui peuvent également se rencontrer dans l'air.

Le même résultat s'obtient en ce qui concerne la constatation de l'ozone en plaçant à côté du papier blanc de Schönbein un papier de tournesol bleu qui rougirait sous l'influence des vapeurs acides. Comme dans la plupart des cas ce dernier papier reste bleu, on peut admettre, dans mon opinion, que les indications fournies par le papier ioduré sont suffisantes pour constater la présence de l'ozone dans l'air. Il paraît, en outre, établi que les divers corps qui se trouvent dans l'air sont en quantité trop minime pour exercer sur le papier ozonométrique, déjà assez peu sensible par lui-même, une action appréciable. On s'efforce, d'ailleurs, de toutes parts, d'apporter des perfectionnements à la constatation de l'ozone atmosphérique, l'un des phénomènes les plus intéressants, les plus actuels de la météorologie. Ainsi, tout récemment, un observateur de la Havane, M. André Poëy, a construit un ozonographe destiné à enregistrer automatiquement de demi-heure en demi-heure l'ozone atmosphérique.

Au point de vue de la météorologie, de très-nombreuses observations ont déjà été faites et se font actuellement dans un grand nombre de localités; bien qu'il soit difficile de tirer de ces observations des déductions bien nettes, bien qu'elles soient souvent contradictoires, on ne saurait trop encourager ceux qui se livrent avec persévérance à cette étude difficile et laborieuse.

L'un des faits néanmoins qui me semble ressortir de ces observations, c'est que la production de l'ozone est un phénomène atmosphérique beaucoup plus qu'un phénomène résultant des actions qui se produisent au sein ou à la surface de la terre. Ainsi, bien que les observations persévérantes faites à Rouen par M. Houzeau aient établi que la manifestation de l'ozone a lieu particulièrement au printemps et pendant l'été, tandis que ce corps n'existe dans l'air que rarement pendant l'hiver et pendant l'automne, il ne paraît pas qu'on doive attribuer au développement des végétaux une part bien grande dans la manifestation de ce phénomène. Il semble probable, au contraire, que les vents qui viennent de la mer sont ceux qui nous apportent la plus grande quantité d'air ozonisé. Sous l'influence des bourrasques, des tempêtes, des ouragans, de l'évaporation et du transport de l'eau et des actions électriques qui accompagnent ces phénomènes au sein des mers, l'ozone se développe, et ce corps nous arrive avec les vents qui soufflent sur nos côtes. Ainsi, de nombreuses observations faites dans ces derniers temps, à la demande de M. Le Verrier, ont nettement constaté que pour nous l'ozone existe

Digitized by Google

surtout dans l'air lorsque les vents nous viennent de l'ouest et du sud-ouest.

La présence de l'ozone dans l'air peut-elle exercer une influence quelconque sur la santé publique? Cette question a donné lieu à bien des opinions contradictoires.

M. Schönbein a émis le premier l'opinion que l'oxygène sous cette forme est un agent destructeur des gaz méphitiques, des miasmes qui existent dans divers pays, soit normalement, soit, en temps d'épidémie, d'une façon accidentelle. Ces miasmes, transportés par l'air ou dégagés par la putréfaction des matières végétales et animales, sont transformées par l'ozone, qui les brûle, en matières inertes, sans action nuisible sur notre économie; de sorte que l'ozone serait comme un correctif versé dans l'air par la Providence pour le purifier ou pour le maintenir dans un état convenable de salubrité.

Schröder a trouvé que la putréfaction des matières animales n'a pas lieu dans l'air ozonisé; un œuf conservé dans cet air pendant trente-huit jours n'avait subi aucune altération. Un trois millionième d'ozone dans l'air suffirait pour en assurer la salubrité au point de vue de la destruction des miasmes. La proportion qu'on en trouve dans l'air peut varier de 1 à 10 cent-millièmes.

Cette action dépurative n'est pas, d'ailleurs, en contradiction avec cette autre observation, que l'ozone, mêlé à l'air en proportion exceptionnelle, peut exercer sur nos organes respiratoires une action délétère marquée, ainsi que l'ont observé, en 1847, les professeurs de médecine de Bâle. Ce serait même, selon un médecin de Bombay dont je parlerai tout à l'heure, à sa concentration dans l'atmosphère, dans des circonstances particulières, qu'il faudrait attribuer, en partie, les effets si terribles produits par le simoun dans les déserts de l'Afrique.

Cette action de l'ozone, bienfaisante selon les uns, nuisible ou nulle selon les autres, nous conduit naturellement à l'examen de cette question : Existe-t-il une certaine relation entre l'existence de l'ozone dans l'air et le développement des maladies épidémiques, notamment du choléra?

Je n'étonnerai personne en disant que sur cette question (comme sur plusieurs autres) nos médecins ne sont pas d'accord. Néanmoins, si les observations nombreuses et patientes faites à Versailles, depuis plus de dix ans, par M. Bérigny, ne donnent encore aucune indication bien précise à cet égard, M. Böckel a tiré de ses expériences, faites à Strasbourg, en 1854 et 1855, cette conclusion, qu'il existait une relation intime entre le développement du choléra et la diminution ou l'absence de l'ozone dans l'air; l'ozone avait disparu au commencement de l'épidémie; il avait reparu quand le choléra disparaissait à son tour.

Le travail le plus considérable, j'ajouterai le plus autorisé qui ait été fait sur cette importante question est un travail tout récent qui nous arrive de l'Inde. Il est dû à un médecin de Bombay, le docteur Cook. C'est une relation de l'enregistrement de l'ozone dans la présidence de Bombay, pendant les années 1863 et 1864, expériences faites en exécution des ordres de l'inspecteur général du service de santé de cette présidence. Ces observations ont été faites simultanément, pendant toute l'année, le jour et la nuit, dans seize stations qui sont les divers hôpitaux civils et militaires du pays.

Vous le voyez, on ne peut pas dire, cette fois :

C'est du Nord aujourd'hui que nous vient la lumière.

Le travail du docteur Cook présente une importance qui n'échappera à personne, en raison des conditions dans lesquelles il a été exécuté. Si l'Inde n'est pas, comme beaucoup le pensent, la mère-patrie du choléra, il est certain que cette maladie y exerce ses ravages d'une façon presque continue. D'une autre part, l'élévation de la température, l'état habituellement électrique de l'air et d'autres circonstances y rendent la présence de l'ozone plus fréquente et sa constatation plus facile qu'ailleurs.

Le docteur Cook tire des résultats numériques très-nombreux qu'il a enregistrés cette conclusion, qu'il existe une connexité évidente entre l'absence ou la décroissance de l'ozone dans l'air et la présence du choléra; il en est de même pour la dysenterie et les fièvres intermittentes. Quand l'ozone existe dans l'air en proportion relativement grande, ces maladies disparaissent; quand il diminue, elles font de nouvelles victimes.

Ainsi, vous le voyez, cette question de l'ozone n'est pas une petite question; de Versailles à Bombay, elle a donné déjà lieu à bien des recherches. C'est donc avec raison que l'illustre directeur de l'observatoire de Paris l'a rangée au nombre des questions importantes dont la météorologie ait à s'occuper désormais.

Iode.— J'arrive à un autre corps dont la présence dans l'air a aussi donné lieu à de nombreux travaux contradictoires. L'air atmosphérique renfermerait une très-petite quantité d'iode. Ce résultat, annoncé par M. Chatin en 1850, a été accueilli, par la plupart des chimistes, avec une certaine incrédulité. Aujourd'hui même, cette impression existe encore, à tel point que, tout récemment, M. Chatin a demandé à l'Académie des sciences la nomination d'une commission qui serait chargée de vérifier les faits qu'il a avancés.

Avant d'exposer les méthodes qu'on emploie pour déceler la présence de ce corps, il me paraît indispensable de faire connaissance avec lui et d'indiquer ses principales propriétés.

C'est en 1813 que l'iode a été découvert par un salpêtrier de Paris, Courtois. Peu de temps après, Gay-Lussac, auquel Courtois avait remis une certaine quantité de la nouvelle substance, en fit une étude tellement complète, tellement magistrale, qu'il laissa bien peu de chose à faire à ceux qui s'en occupèrent après lui.

L'iode forme, avec le fluor, le chlore et le brome, dont la découverte fut faite dix ans plus tard par M. Ba-

Digitized by Google

lard, une sorte de famille naturelle, dans laquelle l'iode occupe le dernier rang sous le rapport de ses affinités générales.

Les propriétés de ce corps sont fort intéressantes. D'une couleur gris d'acier, il émet, à la température ordinaire, des vapeurs que leur couleur violette permet de reconnaître aisément. Fusible à 107 degrés, il entre en ébullition à 180 degrés, en se transformant en un gaz très-dense, d'une magnifique couleur violette. De là, le nom que Gay-Lussac lui a donné. Il fournit, en s'unissant à l'argent, un composé très-impressionnable à la lumière, dont la photographie tire le plus grand parti. Employé à faibles doses, sous des formes très-diverses, il constitue un médicament fort précieux. Avant que ce corps ait été découvert, les cendres provenant de la calcination des éponges, qui renferment de l'iode, étaient déjà employées pour le traitement du goître. L'huile de foie de morue, médicament si usité aujourd'hui, doit, en grande partie, son efficacité à l'iode qu'elle renferme.

La source principale de l'iode est l'eau des mers, qui n'en contient pourtant qu'une faible quantité, environ 6 milligrammes par litre, soit 6 parties d'iode dans 1 000 000 parties d'eau. Ce corps s'y rencontre, à l'état d'iodure alcalin. Certaines plantes qui se développent dans la mer, notamment les varechs, les diverses variétés de fucus que les vagues rejettent sur le rivage à certaines époques de l'année, ont la faculté de s'assimiler ce corps en proportion notable, de telle sorte que, par leur incinération, on obtient une cendre dite soude de varech, qui contient 5 à 6 pour 100 d'iodures alcalins, et dont l'eau mère, qui reste après la séparation des autres sels, est employée pour l'extraction de l'iode.

Bien qu'on eût déjà constaté la présence de l'iode dans un certain nombre de matières minérales, dans les poissons de mer et dans d'autres produits marins, on considérait, il y a quinze ans, ce corps comme étant assez peu commun, lorsqu'en 1850 M. Chatin annonça que l'iode existait dans tous les végétaux aquatiques. En poursuivant ses recherches, il en constata la présence dans les eaux douces et dans les animaux qui vivent dans ces eaux, tels que les moules, les sangsues, les écrevisses, les grenouilles, les différents poissons; il n'est pas jusqu'au goujon de la Seine qui n'en renferme une petite quantité. Il en est de même du sol et des plantes qui se développent sous l'influence de ces eaux.

Comme conséquence de ces faits, M. Chatin a été conduit à rechercher l'iode dans l'eau pluviale; il a constaté que cette eau en renfermait. Enfin, il a cherché ce corps dans l'air atmosphérique, et il l'y a trouvé.

Ainsi l'iode, considéré d'abord comme un des corps les plus rares, se trouve être aujourd'hui l'un des corps les plus répandus, tant dans la nature organique que dans le règne minéral. Si toutes les observations de M. Chatin sont exactes, et, bien que d'abord contredites, elles sont aujourd'hui confirmées pour la plupart, il serait plus difficile de rencontrer des corps dépourvus d'iode que des corps qui en contiennent.

A la vérité, la quantité d'iode qu'on trouve dans l'air est extrêmement petite; en outre, l'air n'en renferme pas toujours et partout. Ainsi, 4000 litres d'air de Paris contiendraient en moyenne, environ $\frac{1}{200}$ de milligramme d'iode. Comme ce corps (qu'il soit dans l'air à l'état libre ou à l'état combiné, ce qu'on ne sait pas encore) est soluble dans l'eau, on le retrouve en plus notable quantité dans l'eau pluviale, ou dans les poussières organiques qu'elle entraîne avec elle; 10 litres de cette eau en contiendraient de $\frac{1}{10}$ à $\frac{1}{5}$ de milligramme.

Quelle est l'origine de l'iode dans l'air? On ne paraît pas, jusqu'à présent, s'être beaucoup préoccupé de cette question. Il me semble probable que son origine doit se trouver aussi dans l'eau des mers, dans les produits de son transport, dans ces produits qu'Arago appelle quelque part les *poussières de l'Océan*. Au nombre des matières entraînées mécaniquement par les vents, doit se trouver une très-petite quantité d'iodures qui peuvent exister en suspension dans l'air, et qui, même sous diverses influences, notamment sous l'influence de l'ozone, peuvent donner naissance soit à de l'iode libre, soit à de l'iode uni à des matières organiques. S'il en est ainsi, on peut expliquer la présence de l'iode dans les localités découvertes ou voisines des côtes, à l'exclusion de celles qui en sont éloignées ou qui sont abritées par des montagnes, comme sont les vallées des Alpes et des Pyrénées.

Mais par quels moyens arrive-t-on à reconnaître de si petites quantités d'iode? C'est à l'aide de réactions d'une excessive sensibilité que je vais vous indiquer en quelques mots.

Nous avons vu que l'iode, à l'état libre, possède la propriété de fournir, avec l'amidon, une belle matière colorée bleu indigo. A l'état d'iodure, il est sans action sur ce même corps, mais la couleur apparaît aussitôt qu'il est mis en liberté par l'intervention d'un autre corps, tel que le chlore, l'acide azoteux, etc.

Cette réaction, employée par des mains exercées, permet de constater sûrement la présence de quantités d'iode excessivement petites. Mais l'écueil est dans sa sensibilité même. On peut se demander si, en raison même de l'extrême diffusion de l'iode, les réactifs mêmes qu'on emploie n'apportent pas avec eux l'iode dont on cherche à constater la présence. Les acides, les alcalis, les métaux, presque tous les agents chimiques contiennent de l'iode. Est-on bien sûr de les purifier suffisamment pour qu'ils n'en renferment plus la moindre trace lorsqu'on les emploie pour rechercher la présence de ce corps? Cet iode, qui viendrait de l'eau ou de l'air, ne vient-il pas tout simplement des réactifs?

La question en est à ce point. Pour beaucoup de chimistes, elle est encore douteuse. S'il m'est permis d'émettre ici une opinion toute personnelle, je dirai que, pour moi, l'existence de l'iode dans l'air est

Digitized by Google

un fait sinon certain, au moins extrêmement probable. M. Bouis, auquel on doit de très-bons travaux sur l'analyse des eaux, a constaté souvent, dans l'eau pluviale, la présence de l'iode. Tout récemment, j'ai fait avec lui la même constatation. 4 litres d'eau pluviale ont été évaporés à siccité, après addition de 4 décigrammes de carbonate de potasse pur. Le résidu, légèrement calciné pour carboniser les matières organiques que l'eau de pluie renferme habituellement, a été repris par l'alcool. La dissolution alcoolique a été évaporée à son tour. Le nouveau résidu, mis en contact avec quelques gouttes d'une dissolution d'amidon et d'une goutte d'acide azotique, a donné, de la façon la plus manifeste, la coloration bleue due à la formation de l'iodure d'amidon. *Il est évident que si l'eau de la pluie contient de l'iode l'air atmosphérique en renferme également.*

Si petites que soient, d'ailleurs, ces quantités, on ne peut nier, si elles existent, qu'elles ne puissent exercer sur la santé publique une influence marquée. Les travaux de M. Chatin, et ceux de plusieurs autres savants, tendent à établir que le goître, pour la guérison duquel l'iode est un médicament très-efficace, et le crétinisme, qui sont des affections endémiques, se rattachent, comme fait général, à la quantité d'iode plus ou moins grande qui existerait dans l'air, dans les eaux, et, par suite, dans le sol et dans les aliments qu'il nous fournit. M. Chatin a reconnu que, sur les sommets et dans les les vallées des Alpes, l'air et les eaux sont très-pauvres en iode; le goître et le crétinisme y sont très-communs. Ces affections disparaissent ou sont moins fréquentes à une certaine distance des grands massifs montagneux; l'air et l'eau y contiennent de l'iode. Ainsi, d'après une classification géographique essayée par M. Chatin, l'iode serait à son maximum à Paris, à Orléans, à Londres; sa consommation, par individu, serait de $\frac{1}{60}$ de milligramme par vingt-quatre heures, sous forme d'air, d'eau, d'aliments; dans ces conditions, le goître serait à peu près inconnu. Cette maladie est extrêmement commune, au contraire, dans certaines parties des Alpes, dans lesquelles la consommation de l'iode ne serait plus que de $\frac{1}{600}$ de milligramme. Si ces conjectures sont vérifiées, l'échange des produits des diverses contrées et l'emploi du sel marin légèrement ioduré amèneraient, plus ou moins rapidement, la disparition complète de ces maladies.

L'influence de la mer sur la composition de l'air atmosphérique se fait également sentir lorsqu'il s'agit de déterminer la nature et la proportion des matières qui se trouvent dans l'eau de la pluie. Chaque kilogramme d'eau de mer pulvérisée par le vent et évaporée dans l'air y laisse 30 à 40 grammes de matières salines de nature très-complexe, lesquelles peuvent être transportées à de grandes distances, bien qu'elles soient plus abondantes dans l'air qui avoisine les côtes. Ces matières, de même que celles qui résultent de l'altération des produits organiques au sein de la terre, se retrouvent dans l'eau pluviale. Celle-ci renferme, en effet, une petite quantité de matières salines, notamment de l'azotate d'ammoniaque, élément très-fertilisant, de l'ammoniaque à l'état de carbonate, du sel marin, des sulfates de soude, de potasse, de magnésie et de chaux, de l'iode, etc., et diverses matières organiques encore peu étudiées.

Bien que la somme de ces sels ne représente à Paris que quelques milligrammes par litre d'eau, néanmoins la quantité d'eau qui tombe sur le sol est suffisante pour y apporter ces matières en assez forte proportion pour exercer sur la végétation un effet utile bien marqué. On se rend compte ainsi de l'amélioration que la jachère apporte à la terre. En mesurant et en analysant l'eau tombée pendant le deuxième semestre de l'année 1851 sur la plate-forme de l'Observatoire de Paris, M. Barral a constaté qu'une surface d'un hectare à Paris peut recevoir dans l'année, par le fait seul de la pluie, 132 kilogrammes de matières fertilisantes.

Ces quantités d'ailleurs sont extrêmement variables selon la position géographique des lieux, la direction des vents, l'abondance des pluies, etc.

Dissolutions sursaturées. — J'ai dit que nous sommes loin de connaître toutes les substances solides ou gazeuses qui se trouvent en très-petite quantité dans l'air. La découverte d'une réaction assez sensible pour reconnaître un corps en amène quelquefois sa constatation dans l'air. C'est ainsi que les nouveaux procédés de l'analyse spectrale permettent de constater la présence presque constante du sel marin dans l'air qui nous environne : c'est ainsi que les moyens très-délicats que nous avons pour déceler la présence de l'iode ont conduit à reconnaître ce corps dans l'eau pluviale et dans l'air. Les travaux tout récents dont les dissolutions sursaturées ont été l'objet, permettent également de rattacher cette question à celle de la découverte de quelques-uns des corps qui se rencontrent dans l'air.

Permettez-moi de vous exposer, de la façon la plus brève, en quoi consistent les curieux phénomènes que présentent les dissolutions sursaturées.

On sait que la plupart des sels solubles se dissolvent en plus grande quantité dans l'eau chaude que dans l'eau froide. Une dissolution saline faite à chaud et abandonnée à un refroidissement lent, abandonne une partie du sel à l'état cristallisé.

En déterminant les rapports en poids entre le sel et l'eau qui existent dans la dissolution restée en contact avec les cristaux, dissolution qu'on appelle *saturée*, on trouve que ces rapports sont toujours les mêmes pour le même sel en dissolution saturée à la même température. Ces rapports peuvent être représentés par des tracés graphiques d'une construction très-simple. Ce sont *les courbes de solubilité* des sels.

Or, il arrive quelquefois qu'un sel se soustrait à la règle commune. Le sel qui devait se précipiter par suite de l'abaissement de température de la dissolution reste dissous : la liqueur reste limpide : elle ne fournit pas de

Digitized by Google

cristaux. On dit alors que la dissolution est *sursaturée*.

Le sulfate de soude (sel de Glauber) se prête mieux que tout autre sel à l'étude des conditions dans lesquelles la sursaturation existe ou cesse d'exister. Gay-Lussac, Davy, Schweigger, Löwel, Schröder et dans ces derniers temps, M. Gernez, ont fait connaître ces conditions.

Pour produire une dissolution sursaturée de sulfate de soude, il suffit de dissoudre à la température de l'ébullition 2 parties de ce sel dans 1 partie d'eau. Si la dissolution est abritée du contact de l'air, elle reste limpide quand elle est froide; *elle est sursaturée*. Dans une terrine ou dans un vase ouvert, elle laisse déposer environ la moitié du sel sous forme de cristaux.

On peut l'abriter du contact de l'air de diverses manières : en l'enfermant dans un matras de verre dont on chasse l'air par l'ébullition du liquide et qu'on ferme hermétiquement pendant cette ébullition au moyen du ramollissement et de la fusion du col étiré : en couvrant avec une petite capsule le vase contenant la dissolution sursaturée, ou simplement en versant à sa surface de l'huile ordinaire ou de l'essence de térébenthine. Lorsqu'on vient à briser la pointe du matras à col effilé, ou bien lorsqu'on enlève la capsule de porcelaine qui recouvre le vase, ou bien encore quand on plonge un tube de verre dans le liquide recouvert d'huile, la cristallisation se produit instantanément, *presque toujours*, et la liqueur se transforme en une masse cristalline.

Les causes de ce phénomène ont beaucoup exercé la sagacité des chimistes : Gay-Lussac a montré que dans l'expérience des matras à col effilé, la cristallisation est indépendante de la pression atmosphérique ; Löwel ajouta aux faits précédemment connus cette observation curieuse que l'air qui a filtré au travers d'une couche épaisse de coton ne détermine pas, par son mouvement, la cristallisation, tandis que celle-ci est déterminée par le même air non filtré.

Dans un travail tout récent, M. Gernez a établi, par des expériences très-habilement faites, que la cristallisation d'une dissolution sursaturée est immédiatement déterminée par le contact d'un cristal de même nature que celle de la substance saline qui existe dans la dissolution. Il a vérifié ce fait sur une vingtaine de sels de nature diverse. Ainsi la cristallisation du sulfate de soude ne peut se produire que par l'intervention d'un cristal de sulfate de soude, si petite que soit sa dimension.

Or, comme la cristallisation du sulfate de soude se fait par le simple contact de l'air, M. Garnez a été conduit à admettre que cette substance se trouve disséminée dans l'air d'une façon normale; qu'elle est plus abondante, bien que toujours infiniment petite, dans les lieux habités qu'à la campagne, et qu'elle se trouve particulièrement accumulée dans les poussières de l'air. Il est probable aussi que les vents qui viennent de la mer ne sont pas sans influence sur la présence de ce sel dans l'air. Cette hypothèse admise, et elle s'appuie sur des expériences rigoureuses, il devient très-facile d'expliquer les diverses conditions qui déterminent la cristallisation des dissolutions sursaturées de sulfate de soude.

Si le temps me l'avait permis, j'aurais pu vous parler encore de quelques autres matières qui se rencontrent aussi dans l'air. Si petite d'ailleurs que soit la quantité de ces matières, elles méritent toute notre attention : car, en ce qui concerne ces phénomènes naturels, dont nous sommes trop enclins à diminuer l'importance en raison même de notre impuissance à les approfondir, il n'existe pas de petits faits. Déjà depuis moins d'un siècle, depuis la découverte de la composition de l'air par Lavoisier, des travaux considérables ont été faits sur ce sujet : mais le champ d'exploration est immense, comme l'air lui-même. Aussi nous pouvons dire :

> Mais ce champ ne se peut tellement moissonner
> Que les derniers venus n'y trouvent à glaner.

Permettez-moi d'ajouter en terminant, qu'assurément ceux qui y ramasseront les derniers épis ne sont pas encore de ce monde.

EUG. PELIGOT.

MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE.

ZOOLOGIE

(Annélides, Mollusques, Zoophytes).

COURS DE M. LACAZE-DUTHIERS.

II.

De Lamarck.

« Rassembler les faits observés, et les employer à découvrir » des vérités inconnues, c'est dans l'étude de la nature la » tâche que doit s'imposer d'une manière inébranlable qui- » conque se dévoue à concourir à ses véritables progrès. »

Telle est l'épigraphe que de Lamarck a placé en tête de l'une de ses premières publications zoologiques qui porte la date du 27 floréal, an x de la République. Dans ces lignes se retrouvent quelques-unes des grandes qualités de l'un des naturalistes dont le nom honorera toujours la science française.

Nous y trouvons la preuve de son dévouement à la science : il aima passionnément l'étude de la nature; sa vie tout entière, une vie de quatre-vingt-cinq ans, fut consacrée aux progrès de l'histoire naturelle. Nous y voyons que tout homme qui aspire à concourir à l'avancement de la science doit s'imposer une tâche qu'il suivra d'une manière inébranlable : ainsi fit de Lamarck. Tous les actes de sa vie prouvent en lui une volonté ferme, un courage que peut-être bien peu de personnes montreraient dans une position semblable à la sienne.

Le but de M. Lacaze-Duthiers, comme il l'a annoncé à la fin de la dernière leçon, est de chercher dans l'histoire scientifique des hommes éminents qui l'ont précédé dans cette chaire, des enseignements qui puissent servir de règle de conduite. Aujourd'hui il étudiera celui qui l'occupa

(1) Voyez le numéro 16.

Digitized by Google

le premier; il l'envisagera dans ses productions, dans ses idées générales, en cherchant toutefois à rester autant que possible dans l'ordre des choses qui doivent faire l'objet de ce cours.

En 1793, la Convention en réorganisant le Jardin du Roi lui donna le nom de Muséum d'histoire naturelle, et jeta alors les bases d'une administration qui a produit, quoi qu'on en puisse dire, les immenses richesses qui se trouvent aujourd'hui réunies ici, et qui a servi de modèle à presque tous les grands établissements de même nature. Dans cet acte de réorganisation, il était établi que chaque branche de la science de la nature devait avoir son interprète, et c'est ainsi que furent créées les diverses chaires du Muséum avec la même division, ou à peu de chose près, que celle qui existe encore aujourd'hui. Les anciens professeurs titulaires choisirent dans ces créations nouvelles les chaires qui leur convenaient le mieux; Lamarck, simple garde des herbiers, bien que s'étant exclusivement occupé de botanique, ne pouvait songer à occuper la place des de Jussieu; mais il restait une chaire, celle correspondant aux classes des *Vermes* et des *Insecta* de Linnæus : il la prit quand il était déjà dans sa cinquantième année. Il n'avait alors pour toute connaissance en cette matière que ce qu'il avait pu acquérir dans ses conversations intimes avec Bruguière, auteur de l'histoire des coquilles dans l'*Encyclopédie*. C'est ainsi qu'il passa de sa modeste place de conservateur à une position toute nouvelle, toute différente, à laquelle il n'avait jamais songé et où il était arrivé par hasard, et, pour ainsi dire, par ordre.

Quelle force de caractère, quelle énergie ne fallait-il pas pour entreprendre, à quarante-neuf ans, de répondre à une pareille tâche! Et si nous considérons qu'il a laissé, sur cette matière jusqu'alors nouvelle pour lui, un livre qui suffirait seul pour illustrer un nom, nous jugerons sans peine de la puissance de volonté qu'il dut mettre en œuvre.

Nous avons à étudier dans de Lamarck surtout le zoologiste. C'est le côté le plus intéressant pour nous, c'est aussi le plus important dans la vie de cet homme célèbre. Mais par quel moyen arriverons-nous à l'apprécier justement, à le bien connaître?

Lamarck a beaucoup fait, beaucoup écrit : en prenant ses œuvres dans leurs détails, on peut évidemment arriver à le bien juger; mais il faudrait pour cela plus de temps qu'il ne nous en est donné.

Il y a d'ailleurs ici une remarque générale à faire. C'est une chose curieuse qu'un grand nombre de savants, dont les noms sont connus seulement par des travaux particuliers, tiennent moins à ces produits originaux qu'à leurs idées générales. On pourrait citer, à l'appui de cette remarque, de nombreux exemples; tel savant de nos jours met ses idées philosophiques bien avant tel ou tel travail spécial qui, pour lui, est un détail prouvant la valeur de ses moyens d'investigation, une œuvre faite non pour le résultat, mais pour la méthode.

Cette remarque s'applique à de Lamarck, qui lui aussi tenait bien moins à ses travaux de détails qu'aux idées générales qui le guidaient dans ses recherches. Doué dans sa jeunesse d'une imagination ardente et vive, d'une grande fougue de caractère, il n'en possédait pas moins un esprit éminemment méditatif. C'est sous l'empire de cette direction de son intelligence qu'il avait conçu des théories sur toutes les grandes questions dont il est donné à l'esprit humain de s'occuper. En métaphysique, la matière, la nature, Dieu, la création, avaient exercé sa belle intelligence; la physique, la chimie, la météorologie, dans leur ensemble et leurs généralités, avaient été aussi les objets de ses méditations. Et les idées générales qu'il avait puisées dans ce genre d'investigations se retrouvent reproduites sous toutes les formes et partout dans son œuvre; on les retrouve jusque dans ses classifications, qu'on ne peut bien comprendre que si l'on connaît la filiation des idées qui l'y ont conduit. Nous ne devrons donc jamais perdre de vue dans notre exposé et notre appréciation historiques ce grand côté du génie de de Lamarck, et pour arriver à le bien connaître, c'est surtout dans ses idées générales que nous devons l'étudier.

Dans l'appréciation des critiques de de Lamarck, on peut se demander si Cuvier, entre autres, ne s'est pas laissé entraîner par un esprit de parti pris un peu à l'avance, et s'il a réellement rendu justice à celui qu'on appela le Linné français. Le professeur ne veut pas trancher la question; mais en lisant avec soin son *Éloge historique*, il est facile de s'apercevoir qu'il s'étend bien complaisamment sur les erreurs, les exagérations, et ce qu'on a osé appeler les folies de Lamarck. Mais en vérité, quel grand homme n'a pas eu ses exagérations? Quel homme de génie n'a pas été entraîné par son intelligence plus loin qu'il ne l'eût peut-être voulu? Et si Lamarck, que Cuvier nous montre dans une position nécessiteuse, occupant une habitation élevée et rêvant en regardant passer les nuages, a cru avoir trouvé les lois de la météorologie lui permettant de prédire le temps, ce n'était pas une raison pour insister sur ce côté faible. Peut-être aussi celui qui devait devenir un grand zoologiste eut-il tort de faire des théories sur la composition des corps, alors que Lavoisier fondait sur ses véritables bases la chimie moderne.

Quand nous apprécions un homme, c'est au point de vue des services réels qu'il a rendus que nous devons surtout étudier ses œuvres; et si, chemin faisant, nous rencontrons quelques-unes de ces faiblesses humaines dont ne sont pas exempts les grands hommes eux-mêmes, laissons-les de côté, en les signalant toutefois. Lamarck est naturaliste : son nom dans la botanique et la zoologie restera célèbre, et si, dans ses spéculations, il a commis des erreurs, ne nous en servons pas pour attaquer le génie d'un homme d'une supériorité incontestable.

Il est de grandes questions auxquelles tous les zoologistes illustres ont apporté leur part d'études et de recherches pour les résoudre diversement. Ces questions se présentent forcément à l'esprit de tous ceux qui se plaisent à mêler à l'étude des sciences naturelles des idées d'ensemble et des considérations élevées. On cherche d'abord à s'enquérir de la manière dont a pris naissance la vie, dont s'est formé le monde organisé; si le mode de production initiale se continue maintenant encore. — Puis vient la question de savoir si les formes primitives se sont conservées jusqu'à nos jours; si, telles que nous les voyons, elles ont été créées; si, d'un autre côté, elles garderont, sans que le temps les modifie, les caractères que nous leur reconnaissons aujourd'hui. — Enfin, un troisième problème se présente : il concerne les rapports généraux qu'ont entre eux les êtres que nous observons; comment devons-nous les rapprocher et les grouper dans nos classifications, si nous voulons laisser subsister l'ordre et l'enchaînement établis par la nature?

Digitized by Google

Dans ce rapide exposé se trouvent indiquées ces trois questions à l'ordre du jour : générations spontanées, fixité ou mutabilité de l'espèce, série animale. De Lamarck a abordé ces trois problèmes, les a traités et a cru les avoir résolus, en prenant pour point de départ quelques-unes des idées philosophiques générales qu'il avait puisées dans ses méditations. Raisonnant ensuite logiquement, avec toute la rigueur d'un dialecticien sévère, il est arrivé de déductions en déductions à admettre l'existence des générations spontanées et la mutabilité de l'espèce, et, chose curieuse, à la négation de la série animale qui cependant semblerait découler naturellement de ses opinions sur les deux autres questions.

Voyons donc Lamarck aux prises avec ces difficiles problèmes. Ses opinions sont célèbres, il importe de les bien connaître.

M. Lacaze-Duthiers avait dessein de ne consacrer qu'une leçon à l'examen des observations, des idées et des théories de ce grand naturaliste. Mais en l'étudiant attentivement, en voyant ses vues élevées, ses nombreux travaux, en admirant le grand penseur qui fut loué d'un manière exagérée par les uns, critiqué trop sévèrement par les autres, outragé même par quelques-uns, puisqu'on a osé dire qu'il était fou, et que ses derniers écrits étaient des *folies ajoutées à tant d'autres*, en considérant attentivement un tel homme, disons-nous, on se sent animé presque malgré soi du désir de le faire mieux connaître. Deux leçons seront donc consacrées à l'étude des travaux de ce naturaliste, une des gloires du Muséum.

C'est par l'examen des idées et des théories de Lamarck sur les générations spontanées que nous commencerons. Cette question trouve d'ailleurs dans notre programme de cette année une place toute marquée. L'histoire des Helminthes est en effet celle dont tous les traits se rattachent le plus à l'étude de la reproduction; nous aurons donc à nous occuper, d'une manière toute particulière, au milieu des détails purement zoologiques, des fait généraux de la reproduction, importants à tous égards. La question des générations spontanées devra évidemment être étudiée alors. Il sera donc utile de donner aujourd'hui quelque développement aux théories de Lamarck qui ont trait à cette question. De cette façon nous commencerons l'examen de ce problème en voyant comment il a été traité et résolu; nous apprendrons en même temps à bien connaître Lamarck, en voyant la méthode qui l'a guidé dans ces recherches où son caractère et son génie scientifique se révèlent le mieux. Cette étude, du reste, est dans son œuvre comme le point de départ à tous ses travaux, même à ses classifications, et, à ce point de vue seulement, c'est encore par là qu'il conviendrait de commencer notre exposé historique.

De Lamarck a, du reste, appliqué sa doctrine générale des générations directes ou spontanées à l'étude des Helminthes. Il dit : « N'est-il pas présumable, comme de savants naturalistes l'ont déjà pensé, que les Vers intestins, qu'on ne trouve jamais ailleurs que dans le corps des autres animaux, sont dus aux générations directes de la nature? » (*Ph. zool.*, p. 86.)

Il n'y a pas bien longtemps que cette opinion de Lamarck, admise dans la science comme fait avéré, était encore professée à l'École de médecine par Pierre Bérard.

Ce n'est donc pas nous éloigner des études de cette année, que de nous occuper de ce sujet.

Il y a d'abord une remarque générale à faire sur la méthode d'exposition de Lamarck. Si on lit attentivement la remarquable introduction de l'histoire des *Animaux sans vertèbres*, on est frappé bien vite de la logique serrée, de l'argumentation sévère qui se retrouve d'ailleurs dans tout ce qu'a écrit de Lamarck. Si, admettant les prémisses, on se laisse entraîner, une fois ce premier pas fait, il sera impossible de reculer. C'est là qu'est la partie faible de ses théories; c'est là qu'elles sont attaquables; le reste est logique, il n'est plus possible de le discuter; le raisonnement presse et conduit aux conclusions d'une manière forcée.

Il faut aussi tenir compte dans l'étude que l'on fait de Lamarck de l'époque où il écrivait. Bien des découvertes ont été faites depuis ce temps, et des choses qui nous paraissent étranges aujourd'hui n'avaient rien que de très-naturel au moment où il professait ses théories. Il s'était peu livré aux travaux anatomiques : c'est un reproche que lui a adressé Cuvier; mais si, avec ces imperfections, il a pu faire de si grandes choses, ce ne peut être pour nous qu'un motif de l'admirer davantage. Ces observations faites, abordons notre sujet.

Lamarck établit ainsi son point de départ : « La nature crée elle-même les premiers traits de l'organisation dans les masses où il n'en existait pas; et ensuite l'usage et les mouvements de la vie développent et composent les organes. » (*Ph. zool.*, vol. II, p. 62.)

Ici chaque mot demande presque une définition; il faudrait savoir ce que Lamarck entend par vie et par nature. Nous reviendrons plus tard sur les deux termes de cette proposition qui demandent des développements particuliers. Cherchons d'abord à voir clair dans ses théories touchant la formation des êtres organisés. Le professeur demande une attention soutenue; la matière est par elle-même abstraite, et la dialectique sévère de Lamarck doit être suivie attentivement si l'on veut comprendre et discuter ses conclusions.

Il ressort donc du texte que nous venons de citer que la nature crée le quelque chose qui doit devenir vivant, et que la vie intervient ensuite pour le modifier et faire les organes. Voyons maintenant comment et par quel mécanisme appréciable sont formés les premiers corps vivants.

Ici nous trouvons dès l'abord un aveu de Lamarck : « La plus grande difficulté pour nous en apparence, est de concevoir comment la nature a pu instituer la vie dans un corps qui ne la possédait pas..... et comment elle a pu commencer l'organisation la plus simple, soit végétale, soit animale, lorsqu'elle a formé des générations spontanées ou directes. »

Lamarck veut qu'on aborde sans idées préconçues la recherche de la vérité; il veut l'étude directe de la nature. Le passage suivant, qui est une sorte de profession de foi, indique en termes énergiques cette règle de conduite qu'il semble s'imposer : « Chaque fois que nous quitterons la nature pour nous livrer aux élans fantastiques de notre imagination, nous nous perdrons dans le vague, et les résultats de nos efforts ne seront que des erreurs; hors de la nature, en un mot, tout n'est qu'égarement et mensonge : telle est mon opinion. » (*Ph. zool.*)

Voilà certainement un bon conseil et un sage précepte. Mais pourquoi Lamarck l'oublie-t-il si vite pour entrer dans le domaine des hypothèses?

Arrivons maintenant à l'étude de sa théorie. Nous allons le suivre dans ses raisonnements, et nous pourrons nous con-

Digitized by Google

vaincre que ses arguments précis et serrés conduisent fatalement à admettre les générations spontanées, si on lui concède les idées du point de départ. Nous verrons aussi que pour ressusciter à notre époque dans les débats récents sur cette fameuse question les idées et les théories de Lamarck n'ont fait que changer d'habit, et, si l'on peut dire, se mettre à la mode du jour, entre les mains des partisans actuels de la génération spontanée.

Nous savons, par l'observation, que les organismes les plus simples, soit végétaux, soit animaux, Algues ou Monades, sont de petits corps gélatineux, mous, délicats, très-frêles, transparents. — Remarquons, en passant, la désignation de *corps gélatineux* qu'emploie Lamarck; c'est un terme dont le sens vague résulte de l'insuffisance des connaissances histologiques à cette époque; il ne paraît pas d'ailleurs que notre illustre auteur ait employé le microscope.

Tel est le premier fait qu'il avance, fait que lui fournit l'observation.

Il admet d'autre part que les moyens d'action de la nature sont de deux sortes. C'est d'un côté la puissance réunissante, coercitive, ou *attraction universelle;* c'est, de l'autre, les fluides subtils, *électricité* et *calorique*, qui constituent les forces pénétrantes, expansives ou répulsives.

Avec ces deux notions, Lamarck va expliquer la formation des êtres organisés.

La puissance réunissante ou attraction prend dans les eaux et les lieux humides les molécules éparses propres à constituer le corps vivant; elle les rapproche, les agglutine, et ainsi sont formées de petites masses sur lesquelles vont agir à leur tour les forces contraires.

Ces masses formées, les fluides expansifs répandus dans les milieux s'en emparent à leur tour, les pénètrent, et, agissant suivant leur nature spéciale, tendent à en éloigner les molécules, agrandissent les intervalles qui existent entre elles, forment des vacuoles qui deviennent bientôt cavité utriculaire. Dès lors la petite masse prend un caractère organisé, la cellule est formée.

Tel est l'exposé sommaire de la première théorie de Lamarck, théorie qui, il faut bien le dire, n'est pas toujours sans présenter quelque obscurité dans ses livres.

Mais là ne se borne pas l'action des forces physiques; elles vont produire d'autres phénomènes. Les fluides expansifs déterminent bientôt dans ces petits corps gélatineux et cellulaires un état de tension particulier nommé par Lamarck *orgasme;* cet orgasme devient *éréthisme* quand il est poussé à un degré extrême. Ces excitations organiques font partie essentielle de la vie. Quand la force coercitive prédomine, au contraire, un autre phénomène remplace l'éréthisme et lui est contraire, c'est l'*atonie*. — L'orgasme a pour action manifeste sur l'être nouveau de lui donner la faculté d'absorber ce qui lui est nécessaire dans les liquides environnants; le petit corps qui vient de se former d'après la théorie emprunte dès lors ses éléments au milieu dans lequel il est plongé, il absorbe, en un mot. Enfin la continuité d'action des forces expansives, calorique et électricité, détermine en lui des mouvements qui, sans cesse renouvelés, constituent les mouvements vitaux, la vie dans sa manifestation spéciale.

C'est ainsi que l'organisation apparaît, que la vie commence. D'abord sont constituées par l'attraction de petites masses gélatineuses ou mucilagineuses, qui sont ensuite transformées en corps vivants quand les interstices de leurs molécules agrandis reçurent des liquides et que les forces expansives des fluides subtils les firent entrer en mouvement; car le mouvement des fluides propres de ces petites masses utriculaires, c'est la vie.

Telles sont les idées générales que Lamarck a exposées touchant la formation des êtres organisés, et ces idées on les retrouve jusque dans sa classification.

Il est bon, avant d'aller plus loin, de bien comprendre la valeur du mot *orgasme vital*, dont la racine grecque est ὀργασμός (action d'amollir, de pétrir, mouvement impétueux des passions). C'est pour Lamarck un état de tension qui tient les molécules écartées, qui disparaît quand la cause qui le produit cesse d'agir, et fait place alors à l'effet de l'attraction ou atonie. La cause de cet orgasme c'est le calorique qui se trouve répandu dans tous les milieux, qui pénètre les corps, qui résulte même, dans les animaux déjà organisés, des phénomènes vitaux qui s'accomplissent en eux.

Ainsi que faut-il pour que la nature produise les premiers corps doués de la vie? Il lui faut, d'une part, l'union des molécules, résultant de l'attraction universelle qui pour agir a besoin d'un milieu fluide, l'eau ou l'humidité, sans lequel le mouvement des molécules serait impossible. Il lui faut, d'autre part, un écartement modéré de ces molécules produit par le calorique qui détermine l'orgasme, lequel à son tour, par le mouvement des liquides qu'il appelle, commence le mouvement vital. L'attraction existe partout, elle est universelle, et son action est évidente. Restent la chaleur et l'électricité, qui elles aussi sont nécessaires; sans elles point de génération d'organismes inférieurs.

Or, en étudiant la vie sur le globe, on voit bien vite qu'elle est d'autant plus active et féconde que ces deux conditions sont mieux réalisées.

Les anciens avaient bien observé cette influence de la chaleur sur la formation ou le développement des êtres; comme ils avaient vu des animaux dits imparfaits, y compris les vers et les insectes, naître dans les matières soumises à la décomposition par l'action de chaleur, ils en avaient conclu que tous les animaux imparfaits ou inférieurs étaient ainsi produits spontanément.

De Lamarck reconnaît qu'il y avait exagération dans cette opinion des anciens; mais il croit aussi que l'on est tombé dans une exagération contraire quand on eut démontré expérimentalement le peu de fondement de l'ancienne doctrine. Les expériences célèbres de Redi et Leeuwenhoek avaient en effet amené la négation complète des générations directes; c'était pour Lamarck tomber dans une autre erreur, une autre exagération.

Remarquons ici que Lamarck emploie l'expression de *générations directes* qui lui paraît préférable à celle de *générations spontanées*. Pour lui ces générations directes sont la formation de toute pièce, sans intermédiaire vivant, directement en un mot, des organismes les plus inférieurs; les seuls instruments que la nature emploie dans ce but sont le calorique, l'eau et l'attraction.

La nature forma donc primitivement, comme elle forme encore de nos jours, les premières ébauches des organismes. De cette première doctrine des générations directes découlent toutes les conceptions philosophiques que de Lamarck a professées. C'était donc de ce point que nous devions partir, si nous voulions bien juger la manière dont il a traité les autres grandes questions.

Digitized by Google

Lamarck donnait à l'appui de la théorie que nous venons d'exposer ce fait évident : c'est toujours dans les eaux que nous trouvons les animaux inférieurs les plus délicats ; et tirant aussitôt une déduction de cette observation vraie, il affirme que l'on peut avec certitude conclure d'après cela que les premiers habitants de notre globe furent des animaux aquatiques. Il était loin de penser que tous les animaux pussent prendre ainsi naissance, mais il croyait à la possibilité de la formation, par ces moyens physiques, d'animaux encore assez parfaits, les Vers intestins par exemple, ainsi que nous venons de le voir en commençant.

Nous avons dit déjà que tout s'enchaînait dans les théories diverses de Lamarck ; à peine a-t-il découvert ou cru découvrir une loi, qu'il cherche à l'étendre, à l'appliquer aussitôt à des faits dont il donne ainsi une interprétation nouvelle. Nous en allons voir un exemple dans l'explication qu'il fournit de l'acte de la fécondation chez les animaux supérieurs ; il croit avoir découvert le mode de formation primitive des êtres organisés, mode de formation qu'il dit exister encore de nos jours chez les animaux inférieurs ; encouragé par ces prémisses et les déductions qu'il lui semble naturel d'en tirer, il va maintenant aller plus loin, et appliquer aux animaux supérieurs les faits généraux qui, selon lui, président à la formation des organismes élémentaires. Il veut expliquer cette action encore si mystérieuse par laquelle une petite masse organique, l'œuf, fourni par la femelle, ayant en lui la vie et la forme *en puissance*, entre *en acte* sous l'influence du contact d'une autre particule organique, le filament fécondateur produit par le mâle.

Dans cette partie si importante des connaissances physiologiques, l'observation a été poussée jusqu'à ses dernières limites ; on a vu le spermatozoïde arriver au contact avec l'œuf, le pénétrer, et disparaître après avoir communiqué à l'élément femelle des propriétés particulières dont le résultat sera le développement de l'être nouveau. On a vu tout cela : mais que sait-on des actions intimes réciproques de ces deux éléments ? Rien, absolument rien. C'est le mystère des mystères. Lamarck veut pourtant l'expliquer, en se basant sur les principes fondamentaux qui lui servent toujours de point de départ. Voici le résumé de ses raisonnements et de sa théorie.

L'œuf est en réalité une petite masse analogue aux corps gélatineux qui se forment sous l'action des forces attractives ; la seule différence qu'il y ait entre lui et ces petits corps, c'est qu'il présente déjà des traces d'organisation, tandis qu'il n'en existe aucun dans les masses moléculaires produites par l'attraction. Comme ces masses moléculaires, l'œuf subit des transformations sous l'influence d'un fluide pénétrant, d'une force expansive fournie par le mâle. Ce fluide expansif et répulsif du mâle, en pénétrant le germe de la femelle, « ne » fait, par son mouvement, que désunir, dans le tracé de l'or» ganisation, les parties qui ne doivent plus avoir d'adhérence » entre elles, et que leur donner une certaine disposition. » (*Philos. zool.* vol. II, p. 75.)

Ainsi dans la fécondation, celle que l'on observe chez tout être organisé un peu supérieur, il y a, par l'élément mâle, séparation, désunion des parties qui doivent être distinctes, dissociation des premiers linéaments organiques ; dans la génération directe initiale, qui se retrouve encore aujourd'hui chez les animaux inférieurs, il y a écartement des molécules par action d'une force tout à fait analogue. Dans l'un et l'autre cas, il y a par le même mécanisme préparation d'une petite masse destinée à recevoir le mouvement vital qui amène à son tour la production des organes.

Ainsi, d'après de Lamarck, « la nature imite elle-même, » pour ses générations directes, le procédé de la fécondation » qu'elle emploie dans les générations sexuelles ».

Telles sont les idées de Lamarck sur la zoogenèse et la phytogenèse, idées qui se trouvent résumées dans cette proposition : « La nature, à l'aide de la chaleur, de la lumière, de » l'électricité et de l'humidité, forme des générations sponta» nées ou directes à l'extrémité de chaque règne des corps » vivants, où se trouvent les plus simples de ces corps. » (*Philos. zool.* vol. II, p. 80.)

C'est de cette doctrine fondamentale que part de Lamarck pour aborder la grande question de l'espèce et de la série. Nous avions donc besoin de connaître avant tout sa théorie de la genèse primitive des êtres, pour le suivre dans les autres problèmes qu'il a abordés et même pour comprendre ses classifications.

Nous l'avons dit en commençant, de Lamarck, dialecticien habile et sévère, marchant de déduction en déduction, entraîne forcément, si on lui accorde, sans le discuter, le point de départ de ses théories. Conséquent avec lui-même, si ses principes sont justes, et il les considère comme tels, il s'incline devant leurs conséquences quelles qu'elles soient, ne recule devant aucune. Il nous importe donc de bien étudier les principes de cette théorie de la genèse, de les apprécier en les discutant, si nous ne voulons nous exposer à en accepter ensuite les conséquences forcées, comme il les accepta lui-même.

Il est étonnant de voir de Lamarck, qui recommande avec tant d'énergie de rejeter les hypothèses si l'on ne veut s'exposer à l'erreur, les admettre si gratuitement dans sa doctrine de la genèse. En effet, l'existence de ce qu'il nomme forces attractives et forces expansives n'est pas douteuses ; attraction, chaleur, lumière, sont des états divers modifiant bien certainement les corps ; l'observation directe le démontre. Mais dans la théorie de Lamarck, c'est l'interprétation de leur action qui est tout hypothétique. A cette affirmation n'est-il pas possible de répondre par une négation, sans qu'il y ait d'argument à opposer ? C'est une possibilité théorique, ce n'est pas un fait d'observation.

Et cet orgasme, ou état de tension dû à la présence du calorique qui éloigne les molécules, ce quelque chose qui va commencer le mouvement vital, n'est-ce pas encore une hypothèse qu'aucun fait positif ne peut appuyer ? Il y a donc, dès le point de départ des investigations philosophiques de de Lamarck, des conceptions sans fondement positif pris dans l'observation de la nature, et suivant le salutaire et énergique conseil qu'il nous donne, nous les devons rejeter.

Mais supposons que nous admettions ces deux hypothèses des fluides expansifs et de l'orgasme ; si cette petite masse formée par l'attraction de molécules ténues peut, sous l'influence de ces deux forces, devenir corps organisé et vivant, comment ces forces feront-elles que dans un cas elle devienne animal, et dans un autre cas végétal ? Quelle est la nouvelle force qui interviendra pour établir cette distinction première des deux règnes ? — Lamarck nous dit pour toute réponse : « Si la petite masse dont il s'agit est *gélatineuse*, » ce sera la vie animale qui pourra s'y établir ; mais si elle » n'est que *mucilagineuse*, la vie végétale seule pourra y » exister. » (*Philos. zool.*, vol. II, p. 76.)

Digitized by Google

Mais on peut se demander quelle différence existe pour de Lamarck entre le mucilagineux et le gélatineux, et certes la réponse est embarrassante. Sur ce point donc il y a encore tout le vague et l'incertitude qui est le propre de l'hypothèse.

A côté de ces idées dont la réalité pas plus que l'erreur ne peut être démontrée, nous trouvons des affirmations tout à fait erronées. En voici un exemple. Il dit : « Les animaux des » premières classes (les polypes, les radiaires, les infusoires) » ne se multiplient point par la génération sexuelle, ils n'ont » aucun organe particulier pour cette génération ; la fécon- » dation est nulle pour eux, et conséquemment ils ne font » point d'œufs. » (*Ph. zool.*, vol. II, p. 82.)

Il y a dans ce texte autant d'erreurs que d'assertions. Est-il besoin maintenant de réfuter cette opinion que les polypes n'ont point d'œufs? On a vu que presque toute notre première leçon a été consacrée à l'étude de l'évolution de l'œuf de ces animaux; on sait aujourd'hui le mode véritable de formation de ces êtres, aucune part n'y est laissée à la génération spontanée.

Nous trouvons donc dans ces erreurs une preuve nouvelle de l'excellence de la méthode que M. Lacaze-Duthiers ne cesse et ne cessera de conseiller : si l'anatomie, l'embryogénie, l'observation biologique, eussent guidé le génie de Lamarck, il n'eût pas avancé ces affirmations que l'étude positive des faits est venue démentir. Que cet exemple nous soit un encouragement à persévérer dans une voie qui nous conduit à la vérité et hors de laquelle on arrive à l'erreur.

Citons encore un exemple de ces déductions erronées tirées de faits incomplétement observés. De Lamarck fait des infusoires des êtres tout à fait éphémères ; leur frêle existence ne peut résister à un changement brusque de température, et ils périssent fatalement, selon lui, quand vient une saison rigoureuse. Ils reparaissent ensuite, au retour de la saison clémente, et s'ils ont dû tous périr, il est naturel de supposer qu'ils ont été reproduits sous l'influence de la chaleur par une génération directe ou spontanée. Or ce fait de la destruction par le froid de tous les infusoires est inexact; l'observation montre en effet qu'on en trouve de vivants dans l'eau que recouvre la glace. Ici encore de Lamarck n'avait pas suivi le précepte qu'il a posé lui-même : « Toutes les fois que nous » quitterons la nature pour nous livrer aux élans..... de notre » imagination....., les résultats de nos efforts ne seront que des » erreurs. » Il s'était lui-même abandonné à cette imagination dont il redoutait si bien les dangers pour les autres. Mais, remarquons-le, il est bien plus facile de donner des conseils que de les suivre soi-même ; ne faisons donc pas de cette contradiction un reproche trop vif à celui qui a tant d'autres titres à notre admiration.

Nous venons d'exposer sur les générations spontanées seulement les idées de Lamarck, bien entendu. Nous reprendrons plus tard l'examen de cette question et nous verrons comment elle a reparu de nos jours, sous une autre forme et sur un autre terrain, comme le comportaient les progrès de la science.

Une chose frappe, dès l'abord, quiconque étudie attentivement les travaux de l'illustre auteur des *Animaux sans vertèbres*. Si l'on compare le zoologiste et le botaniste dans de Lamarck, une opposition, un contraste étonnant apparaissent en lui. Dans l'un, c'est la spéculation, l'imagination, qui dominent ; le zoologiste est moins dirigé par l'observation des faits que par la conception à priori. Dans l'autre, au contraire, c'est la clarté, la précision ; et c'est même à cette précieuse qualité du botaniste que sont dus le grand succès de de Lamarck. Cependant, tout grand qu'il fût, ce succès ne se confirma pas sans des difficultés sérieuses.

Lamarck, comme tant d'autres naturalistes illustres, connut le malheur et dut surmonter les obstacles d'une humble position. Une fois de plus, sa vie est venue démontrer que l'ennemi du travail, dans la science, est bien plutôt la fortune que la gêne et la nécessité. Sans insister sur l'homme, et désireux surtout d'étudier le savant zoologiste, il est pourtant utile de donner ici quelques détails biographiques sur de Lamarck. Nous y trouverons une preuve de ce que nous disions au début de cette leçon, à savoir, qu'une volonté ferme et inébranlable l'avait toujours conduit.

Il était le onzième enfant de Pierre de Monet, gentilhomme béarnais, qui était venu se fixer en Picardie, près d'Albert et de Bapaume. C'est là que de Lamarck naquit, le 1er août 1744. Bien que son père fût seigneur du lieu, on comprend qu'un nombre aussi considérable d'enfants devait restreindre beaucoup la part de chacun ; le patrimoine ne pouvait donc pas assurer au jeune de Monet un bien brillant avenir.

Nous savons ce qu'on faisait, à cette époque, des cadets de famille : ils devaient forcément choisir entre la soutane et l'épée. Plusieurs des Monet étaient déjà à l'armée ; aussi son père ne lui permit pas même le choix. Jean-Baptiste de Monet, chevalier de Lamarck, fut donc envoyé aux jésuites d'Amiens, pour être préparé aux ordres. Mais il ne sentait aucune vocation pour la prêtrise; son caractère le poussait vers la carrière des armes, il voulait être soldat et rejoindre ses frères.

La mort de son père, en 1760, lui rendit la liberté de choisir ; il n'hésita pas. « Alors, « dit Cuvier », rien ne put déter- » miner le jeune abbé à garder le petit collet. Il s'achemina, » sur un mauvais cheval, et suivi d'un pauvre garçon de son » village, vers l'armée d'Allemagne, muni pour tout passe-port » d'une lettre d'une de ses voisines de terre, madame Lameth, » pour M. de Lastie, colonel du régiment de Beaujolais. »

Il arriva à l'armée la veille d'une bataille. Envoyé aussitôt dans sa compagnie, il prit, le lendemain, son poste au premier rang, et débuta par un de ces actes de fermeté qui étonnent toujours quand on les rencontre chez un homme qui va pour la première fois au feu. L'armée était en déroute ; sa compagnie, réduite à quatorze hommes, est oubliée pendant la retraite ; tous les officiers étaient morts. Un soldat propose alors au chevalier de Lamarck de rallier l'armée qui se retire. — « On nous a assigné ce poste, répond-il, nous ne devons le quitter que si l'on nous relève. » Cet acte le fit nommer officier à dix-sept ans. De Lamarck semble désormais voué aux armes ; il a une lieutenance, sa carrière s'annonce brillante. Son régiment est envoyé successivement à Toulon et à Monaco. C'est là qu'en jouant avec ses camarades il éprouva un accident qui détermina au cou des désordres graves ; il vint à Paris pour se faire soigner, et dut abandonner l'état militaire.

Lamarck avait appris au collége la physique ; il aimait aussi les plantes, et avait déjà recueilli des observations en Provence. Ce goût prononcé pour l'étude des sciences naturelles lui fit demander à la médecine son gagne-pain ; car, en abandonnant l'épée, il se trouvait avec 400 livres de rente. C'est avec un pareil revenu qu'il entreprit ses études. Certes, il fallait le courage et l'énergie qu'il avait déjà montrés, et dont il fit encore preuve plus tard, pour se laisser aller au goût de la

Digitized by Google

science avec aussi peu de ressources. C'est alors qu'il dut travailler dans un bureau pour vivre. Combien de grands hommes ont été dans une pareille situation, gagnant leur pain par un travail qui les éloigne de leurs études! Jean-Jacques Rousseau avait copié de la musique. Linnæus aussi avait été copiste, et ceux qui l'employèrent jugèrent que ce n'était pas un jeune homme d'avenir. Cuvier faisait les grandes recherches qui devaient lui faire réformer la zoologie en donnant des leçons à de jeunes enfants, en qualité de précepteur dans une famille. Que d'exemples pourraient être ajoutés à ceux-ci! et combien Cuvier avait raison, quand il dit : « Ainsi tant d'hommes, de-
» venus les lumières du monde, ont passé leur jeunesse. C'est
» trop souvent dans la pauvreté que naît le génie : mais il a
» en lui-même un principe de résistance contre l'infortune ;
» l'adversité en est peut-être l'épreuve la plus sûre, et les
» jeunes gens dans le malaise ne doivent jamais oublier que
» Linnæus se préparait à être le réformateur de l'histoire na-
» turelle en raccommodant ses souliers. »

Il suffit de lire de Lamarck attentivement, pour reconnaître en lui une imagination vive, trop souvent même spéculative, ce qui pourtant n'exclut pas en lui l'amour des faits positifs. Ce que nous venons de voir de sa doctrine de la genèse nous l'a déjà suffisamment démontré. Alors qu'il était encore inconnu, alors qu'il ne faisait que s'initier à l'étude de la nature, ses idées, souvent hardies et originales, lui avaient déjà valu la critique des personnes auxquelles il les communiquait. C'était aux herborisations des de Jussieu que de Lamarck aimait à faire connaître ses idées sur les innovations qu'il se préparait à introduire en botanique ; c'est dans ces réunions d'amis et de savants, où peut-être son amour des sciences naturelles s'était fortifié, qu'il montra, pour la première fois, son esprit réformateur et progressiste.

« Il est bien regrettable, dit M. Lacaze-Duthiers, que cette chaire de botanique rurale, qui aidait tant à faire aimer les sciences naturelles, ait été supprimée. On se voyait aux herborisations ; c'était, pendant la belle saison, le rendez-vous de bien des amis de la nature. Que de célébrités je me rappelle avoir vues, dans ces excursions de Montmorency ou de Fontainebleau, groupées autour d'Adrien de Jussieu et de M. Decaisne! Là, jeunes et encore écoliers, nous aimions à recueillir les leçons, à entendre les conversations savantes et gaies des maîtres illustres; on y apprenait à aimer la science. J'exprimerai ici un regret vif de la suppression de ce cours, qui m'a initié à l'observation de la nature, à ces études si pleines de charme, qui faisaient dire, avec raison, à de Lamarck, « qu'elles nous dédommagent de toutes les peines de la vie. »

C'est à ces herborisations que de Lamarck trouvait l'occasion de critiquer les méthodes descriptives employées alors, méthodes qui lui semblaient insuffisantes; en même temps, il proposait un procédé plus simple et plus certain pour arriver à la reconnaissance des espèces botaniques.

Fig. 93. — Alcyon (extrait du *Monde de la mer* par Alfred Frédol).

Fig. 94. — Pennatule (extrait du *Monde de la mer* par Alfred Frédol).

On était alors à cette époque de réforme et de révolution où tout semblait se ressentir de l'ébranlement général. De Jussieu allait écrire le *Genera plantarum;* Lamarck, mis au défi dans les discussions auxquelles ses idées donnaient lieu, écrivit la *Flore française*, où le premier il prouva que, par marche *dichotomique*, on peut arriver à trouver le nom et les caractères des espèces avec autant de sûreté et de facilité que de promptitude.

On sait ce qu'est la *dichotomie*. Cette méthode, qui a pour objet de conduire à la reconnaissance et à la désignation rapide des espèces animales ou végétales, nous place toujours en face de deux alternatives entre lesquelles il faut choisir, devant deux questions à chacune desquelles il faut répondre *oui* ou *non*. De sorte qu'à des questions simples et heureusement choisies, nous n'aurons qu'à faire une réponse en rapport avec ce qui nous paraît être. Prenons, pour exposer plus claire-

Digitized by Google

ment cette marche dichotomique, un exemple qui nous la fasse bien comprendre ; nous l'emprunterons à une des classes d'animaux qui rentrent dans l'enseignement de cette chaire, et qui ont déjà été l'objet d'études particulières, aux Alcyonnaires. Voyons comment, avec cette méthode, nous parviendrons à classer ou à reconnaître les différentes familles de cette classe.

Voici l'exposé de ce système et son application. Le polypier existe ou n'existe pas. S'il n'existe pas, nous arrivons d'emblée au groupe des Alcyons proprement dits (figure 93).

Si le polypier existe, la méthode nous place devant deux nouvelles questions : l'axe est-il libre ou fixé? S'il est libre, nous aurons affaire au groupe des Pennatules (figure 94), Alcyonnaires qui présentent bien un polypier central, sorte de mince fuseau corné, mais qui se déplacent et flottent librement.

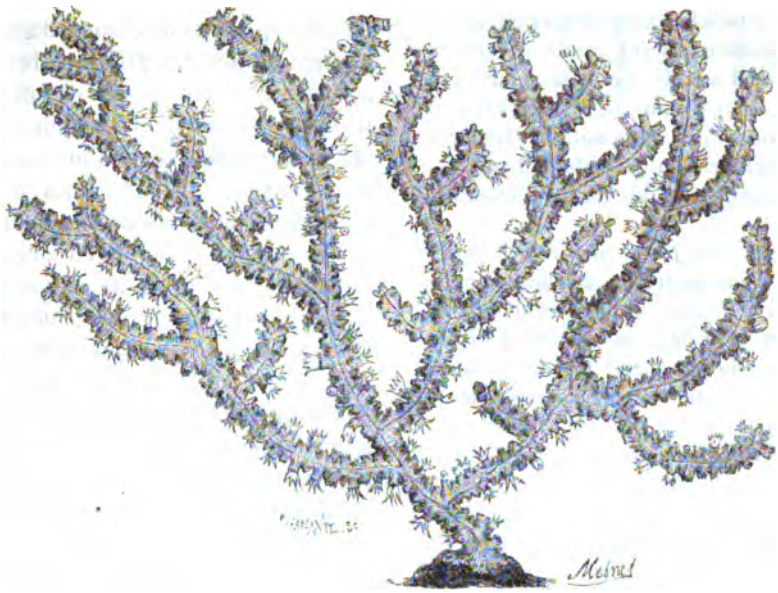


Fig. 96. — Gorgone (extrait du *Monde de la mer* par Alfred Frédol).

Mais le polypier peut être fixé. Dans ce cas, nouvelle alternative : est-il creux ou d'apparence tubuleuse, ou bien est-il plein? S'il est tubuleux, nous avons le groupe des Tubipores (figure 95). Ex. : *Tubipora musica*, vulgairement Orgue de mer.

Mais le polypier n'est pas tubuleux, et ce caractère négatif est propre à un grand nombre d'Alcyonnaires. La méthode dichotomique va nous diriger sûrement. Le polypier plein est flexible, ou dur, inflexible et résistant. S'il est flexible, il le sera dans toute sa longueur, ou bien dans certains points seulement de sa continuité. Dans le premier cas, nous arriverons au grand groupe des Gorgones (figure 96) ; dans le second, nous aurons affaire aux Isidinées, dont l'axe n'est flexible qu'au niveau des nœuds qui le sectionnent de distance en distance.

Enfin, un polypier fixe, plein, résistant et inflexible dans toute sa longueur se rencontre chez le corail (figure 97), dernier groupe des Alcyonnaires.

Voici, maintenant, sous forme de tableau, la dichotomie que nous venons d'exposer. On verra mieux ainsi quelle facilité la méthode de Lamarck a introduite dans les recherches taxonomiques.

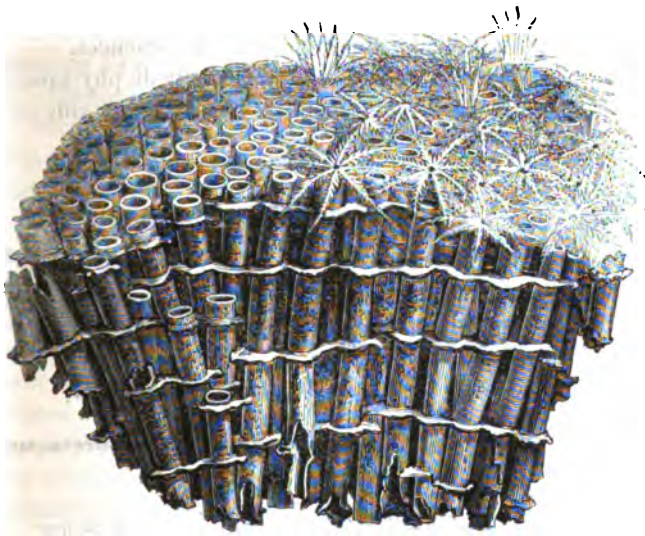


Fig. 95. — *Tubipora musica* (extrait du *Monde de la mer* par Alfred Frédol).

Fig. 97. — Corail (extrait du *Monde de la mer* par Alfred Frédol).

Alcyonnaires.

- Leur polypier existe
  - Non ..... ALCYONS.
  - Oui
    - Oui ..... PENNATULES
    - Libre
      - Non...
        - Oui ..... TUBIPORES.
        - Tubuleux.
        - Non...
          - Flexible...
            - Oui
              - Oui.... GORGONES.
            - En totalité
              - Non (en partie av. nœuds) ISIS.
            - Non ..... CORAIL.

Digitized by Google

C'était, on le voit, une innovation importante et d'une utilité incontestable ; aussi le succès en fut immense. La *Flore française*, disposée d'après cette méthode, fut l'origine des succès de Lamarck. Buffon en obtint l'impression à l'imprimerie royale, et tous les exemplaires furent remis à l'auteur. On peut remarquer que Cuvier a émis, à ce propos, une appréciation que l'on peut regarder comme peu bienveillante : il pense que Buffon, qui n'aimait pas, on le sait, les classifications, avait, en facilitant la publication de celle de Lamarck, voulu montrer le peu de valeur et la facilité de ces prétendues méthodes.

Dès lors, la fortune sourit au jeune naturaliste après l'épreuve. On créa pour lui, non pourtant sans beaucoup de difficulté, la position de *garde de l'herbier du Jardin du Roi*, et, peu de temps après, en 1779, le jeune savant, l'ancien abbé, l'ancien officier, déjà illustre parmi les naturalistes, entrait à l'Académie des sciences. Il avait eu, comme concurrent, Descemet, qui, bien que plus âgé que lui, échoua, et, comme le fait remarquer Cuvier, n'arriva jamais à l'Institut. De Lamarck avait alors trente-cinq alors.

A peu près à la même époque, il fut envoyé en mission pour visiter les herbiers d'Europe; et Buffon lui confia son fils pour l'instruire, durant ce voyage, dans les choses de la nature.

Dès lors, de Lamarck se livre à des études botaniques, que nous n'avons pas à apprécier, jusqu'à ce qu'en 1793 la réorganisation du Muséum le fasse titulaire de la chaire des animaux sans vertèbres.

Bien que notre but ne soit que d'étudier en de Lamarck le zoologiste, il était bon de parler de sa *Flore française*, ne fût-ce que pour restituer à son auteur la priorité de la mise en usage et de l'invention du procédé simple et souvent si utile de la dichotomie. Cet exposé rapide nous a, de plus, montré que de Lamarck était précis et bon observateur quand il restait dans l'observation de la nature, quand il ne s'abandonnait pas à son imagination. Nous allons, d'ailleurs, retrouver ce côté exact et positif de l'esprit de Lamarck dans ses classifications zoologiques. Mais il nous reste à étudier, auparavant, quelques-unes de ses idées générales de philosophie naturelle.

L. Hallez.

BULLETIN DES COURS.

Société des amis des sciences; conférences dans la salle des concerts du Conservatoire de musique.

De nouvelles conférences scientifiques viennent de s'organiser, et nous nous empressons d'autant plus de les annoncer à nos lecteurs, qu'elles ont pour but une œuvre de bienfaisance à laquelle tous ceux qui s'intéressent aux sciences tiendront à honneur de s'associer.

Depuis le commencement de ce siècle, des découvertes scientifiques de tout genre ont centuplé la puissance de l'homme et enrichi la société en donnant naissance à une foule d'industries nouvelles. Mais au milieu du bien-être général, sans cesse croissant autour d'eux, et dû en grande partie à leurs travaux, les savants restent presque toujours pauvres et souvent même ont à lutter contre les plus dures nécessités de la vie. Touché de ces misères, qu'il pouvait connaître et apprécier mieux que personne, Thenard fonda en 1857, la *Société de secours des amis des sciences*, pour venir en aide aux savants ou à leurs familles qui se trouveraient dans le besoin. Cette société compte aujourd'hui 2700 membres et, depuis neuf ans, elle a réparti 150 000 francs de secours entre des familles dont les noms se rattachent à la gloire scientifique de la France. Mais l'exiguïté de ses ressources ne lui permettant pas de soulager toutes les infortunes qui auraient droit à son assistance, plusieurs de ses membres ont conçu l'idée de faire appel au public en organisant des conférences auxquelles on ne serait admis qu'en payant. L'époque avancée de la saison ne permettant pas de leur donner cette année les développements et le caractère pratique qui doivent en faire une institution durable, également féconde pour l'instruction générale, pour l'industrie et pour la science elle-même, il y aura seulement quatre conférence en 1866, dans la salle des concerts du Conservatoire de musique, et elles seront inaugurées le 3 avril prochain, à trois heures, en présence de l'impératrice. Voici l'ordre et le sujet de ces conférences :

3 avril. — M. Delaunay (de l'Institut) : — Sur le ralentissement du mouvement de rotation de la terre.

10 avril. — M. Frémy (de l'Institut) : — Sur l'oxygène et l'ozone.

17 avril. — M. Bertrand (de l'Institut) : — Sur l'histoire de l'ancienne Académie des sciences.

24 avril. — M. Jamin, professeur de physique à l'École polytechnique et à la Sorbonne : — Sur le vide et le plein.

Muséum d'histoire naturelle.

Anatomie comparée (mardis et samedis à une heure). — M. Serres (de l'Institut) a repris ce cours le 3 mars. Il expose l'anatomie comparée des appareils de relation, de respiration et de circulation. L'anatomie comparée du cerveau et celle des organes des sens seront traitées d'une manière spéciale.

Institution royale de la Grande-Bretagne.

COURS RÉGULIERS.

M. le professeur Tyndall. — Six leçons sur la *chaleur*.

M. le professeur Frankland. — Huit leçons sur les *éléments non métalliques*.

M. le rév. C. Henslow. — Quatre leçons sur la *botanique dans ses rapports avec l'éducation*.

M. le professeur Frankland. — Quatre leçons sur la *chimie*.

M. le rév. C. Kingsley. — Deux leçons sur la *science et la superstition*.

M. le professeur Huxley. — Douze leçons sur les *méthodes et les résultats de l'ethnologie*.

M. le professeur Ansted. — Cinq leçons sur la *géographie physique et la géologie dans leurs applications aux beaux-arts*.

M. le professeur Du Bois-Reymond. — Trois leçons sur les *poissons électriques*.

Le propriétaire-gérant : Germer Baillière.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE DES COURS SCIENTIFIQUES

DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE — NUMÉRO 19 — 7 AVRIL 1866

Paris, 6 avril 1866.

Comme nous l'annoncions dans notre précédent numéro, les conférences de la *Société des amis des sciences* ont été inaugurées mardi dernier; c'est M. Delaunay qui portait la parole, et son autorité, toujours si grande pour tout ce qui touche à l'astronomie, était encore plus imposante ce jour-là, puisqu'il devait exposer une découverte considérable et toute récente, qui lui appartient en propre, le ralentissement progressif du mouvement de rotation de la terre, et par suite l'augmentation également progressive de la longueur du jour, qui est notre unité de temps fondamentale. Le sujet était plein d'attraits sans doute, mais le difficile était de donner à un public de gens du monde l'intelligence des grands phénomènes célestes nécessaire pour comprendre la question. M. Delaunay s'en est tiré à merveille; il possède la suprême qualité du savant parlant à un public mondain, une clarté parfaite; et, laissant de côté les formules rigoureuses des faits, qui les définissent à l'esprit sans les peindre à l'imagination, il a su, sans grands éclats d'éloquence, trouver pour chaque phénomène une comparaison simple le représentant dans tous ses détails, et compréhensible pour tout le monde. Nos lecteurs trouveront très-prochainement cette conférence dans nos colonnes, et il est dès lors inutile que nous leur en donnions aujourd'hui une analyse. Mardi prochain, M. Fremy traitera de l'oxygène et de l'ozone. On sait que le savant académicien s'est particulièrement occupé de l'ozone, et il doit reproduire un certain nombre d'expériences intéressantes. Tout fait donc espérer que cette conférence n'aura pas moins de succès que la première.

Parmi les diverses communications faites, lundi dernier, à l'Académie des sciences, nous signalerons particulièrement les travaux de M. Yvon-Villarceaux sur la géodésie de la France; des notes du P. Secchi et de M. Charles Sainte-Claire Deville sur les phénomènes volcaniques qui viennent de se produire dans le midi de l'Europe et un mémoire de M. Faivre sur les gaz que renferment les tissus des végétaux aux diverses saisons.

Le concours des sociétés savantes, qui va se terminer au moment où nous écrivons ces lignes, présentait, cette année, un intérêt particulier : on y a adjoint une exposition des principaux instruments scientifiques récemment inventés, et, de plus, on a répété, sous les yeux de l'auditoire, un certain nombre d'expériences nouvelles. Nous regrettons que le défaut d'espace ne nous permette pas de tout indiquer. On a particulièrement remarqué la série d'appareils imaginés par M. Marey pour inscrire directement tous les mouvements physiologiques et qui sont déjà, en grande partie, connus de nos lecteurs. M. Desains a fait fonctionner un appareil qui a pour but de mieux mettre en évidence les phénomènes et les lois de la double réfraction, en substituant à un simple rayon une nappe conique de rayons lumineux. M. Mascart a exposé la théorie d'une nouvelle bouteille de Leyde qu'il a imaginée de concert avec M. Debray, et qui diffère des jarres ordinaires en ce qu'elle est sphérique. Cette disposition donne à la condensation électrique une puissance bien plus considérable. Signalons, enfin, un nouvel appareil pour enregistrer les divers temps de la chute des corps, par M. Bourbous; une machine soufflante de M. Cavaillé-Coll, la machine pneumatique de M. Deleuil, la pantélégraphe Caselli, le système de wagons de M. le baron Seguier, et les objets de pierres et silex taillés envoyés par MM. Lartet et Christy.

E. A.

CONGRÈS DES NATURALISTES ALLEMANDS.

SESSION TENUE A CARLSRUHE.

DISCOURS DE M. R. VIRCHOW (1)

(membre de la Chambre des députés de Prusse).

Conception mécanique de la vie.

Si j'essaye d'exposer la conception mécanique des phénomènes de la vie devant une assemblée aussi éclairée, je veux tout d'abord protester contre le projet qu'on pourrait m'attribuer

(1) Voyez, dans le n° 6 de l'année courante, une conférence de M. R. Virchow sur la *vie du sang*, et, dans le n° 9, un discours sur le *développement national des sciences naturelles*. — Nous rappelons que nous donnons aux mots *naturaliste* et *science naturelle*, la signification des mots allemands *Naturforscher* et *Naturwissenschaft*. Par *Naturwissenschaft* on entend toutes les sciences qui s'occupent de l'étude de la nature, et l'on donne le nom de *Naturforscher* à tout savant qui étudie l'une de ces sciences.

Digitized by Google

de vouloir renouveler les vilaines discussions sur la tenue des livres en partie double, sur les limites de la foi et du savoir, discussions qui ont formé si souvent le sujet de discours généraux depuis l'assemblée des naturalistes à Gœttingue.

Le savoir n'a d'autres limites que le non-savoir, et j'ai la douce persuasion qu'en Allemagne on ne réussira pas à constituer de nouveau l'Église comme juge de la science. Une nation qui, pendant trente ans, a versé son sang pour conquérir la liberté de conscience, et qui l'a réellement acquise par le traité de Westphalie, peut au moins regarder cette question comme complétement résolue.

Notre tâche est tout autre. Par suite du développement énorme des sciences naturelles, les connaissances expérimentales s'accumulent de plus en plus, et il devient très-difficile à un seul homme d'embrasser d'un coup d'œil général leur ensemble; déjà maintenant les sciences biologiques voient leur union intime avec les sciences naturelles en grand danger de disparaître. Il est on ne peut plus urgent de renouer plus solidement le lien qui existait autrefois entre toutes les connaissances générales, et de retrouver dans une union réciproque toute la force de l'unité; car les naturalistes au moins devraient être unis sur la manière générale de concevoir la vie. Ou bien une telle conception est possible scientifiquement, et ce n'est que dans ce cas que la biologie peut être considérée comme un objet de recherches méthodiques, ou bien elle est impossible, et alors il faut cesser de chercher à soumettre les phénomènes de la vie à des lois naturelles.

Il y a une trentaine d'années, on trouvait encore une certaine unité dans la manière de comprendre la vie, et avec elle la nature entière. Quelle grande chose la philosophie naturelle ne croyait-elle pas exprimer en parlant de la vie de l'atmosphère? Depuis qu'on savait que l'océan aérien est un mélange de gaz bien distincts dans des rapports déterminés et constants, on ne trouvait rien de plus naturel que de supposer que dans l'atmosphère, comme dans la plante et dans l'animal, habite un principe actif; de croire que l'atmosphère produit et conserve par elle-même son mélange propre. Mais la météorologie a résolu cet antique problème : où va le vent, d'où vient-il? Elle a trouvé dans les rapports réciproques de la terre et du soleil, de tel endroit et de tel autre, les conditions des grands courants aériens; elle sait que les plantes absorbent l'acide carbonique expiré par les animaux, et réciproquement que les plantes mettent en liberté l'oxygène dont les animaux ont besoin pour respirer. Sans la vie des plantes et des animaux, le mélange qui forme l'air ne saurait avoir la moindre constance; c'est dans les plantes et dans les animaux, et dans eux seuls, que réside la vie. Si l'on ne veut pas s'enfoncer dans des rêveries vagues et arbitraires, il faut attacher l'idée de vie aux êtres vivants seuls. La plante, l'animal, l'homme, sont seuls doués de vie parmi les êtres connus. La vie est fixée à ces formes déterminées; c'est de leur analyse que doit ressortir la signification de l'idée de vie, et cette signification ne pourra nous satisfaire que si elle s'applique également bien à toutes les formes de la vie, dans les plus infimes comme dans les plus élevées de ses manifestations.

Dans un sens plus restreint, l'étude de la vie incombe à la botanique, à la zoologie, à la physiologie et à la médecine. L'astronomie ne parle plus de la vie des astres, ni la zoologie de la vie de la terre. Certainement les corps célestes ont aussi leur histoire, bien qu'elle ne soit tracée que très-imparfaitement. L'origine et la fin des corps célestes sont jusqu'ici inaccessibles à nos recherches, mais nous retrouvons en eux le mouvement, le développement, l'activité. La terre n'était pas toujours ce qu'elle est maintenant, et chaque instant la voit changer. Mais vit-elle? Y a-t-il dans son histoire quelque coïncidence avec l'histoire de la plante ou de l'animal? Est-elle notre semblable? Quelle aberration de l'imagination ne faudrait-il pas pour couver et développer une pareille idée? La terre a ses semblables parmi les autres corps célestes, et on peut tout aussi peu la comparer aux êtres vivants qu'elle nourrit, qu'on ne saurait la comparer à l'éther que l'hypothèse des physiciens place entre elle et les autres corps célestes.

La vie ne se reconnaît pas simplement en ce qu'elle donne naissance à des corps qui mènent une existence distincte à côté d'autres corps, se conservent et développent une certaine activité par suite des forces qui leur sont inhérentes. Tout cela se trouve de même dans les corps célestes, dans les pierres et les cristaux. L'existence indépendante de tout être vivant est indissolublement liée à une forme déterminée à laquelle sont liées tout à la fois et la base de la conservation et la direction de l'activité; cette forme présente le phénomène de la propagation, du renouvellement et de la multiplication, phénomène inconnu dans tout le reste de l'univers. Tout être vivant doit à cette forme déterminée, avec laquelle il se présente, une certaine particularité, une certaine constance de structure, et, par suite de cette structure, une certaine particularité, une certaine constance de mélange, de composition interne, et ce n'est que cette concordance de la structure et de la composition qui nous donne le droit de réunir la plante la plus infime et l'animal le plus élevé dans un seul et vaste règne, dans le règne animé, et d'opposer ce règne au règne plus vaste encore de la nature inorganique.

La forme particulière et constante sous laquelle se manifeste la vie est la cellule. Quel que soit l'être vivant que nous examinions, toujours nous reconnaissons qu'il tire son origine d'une cellule, qu'il est composé ou construit de cellules. La plante nous offre un arrangement plus lâche, l'animal un arrangement plus intime, de cellules dont chacune a certains signes caractéristiques par lesquels elle devient semblable ou plutôt égale aux autres. Il n'est pas encore établi définitivement combien une cellule doit réunir de caractères, s'il faut attribuer une plus grande importance à telle ou telle partie; maintenant encore on discute pour savoir si tous les tissus du corps renferment, à toutes les époques, des parties cellulaires, et si les plantes et les animaux les plus imparfaits renferment des cellules avec toutes les propriétés attachées à cette expression dans l'école. Mais que les cellules sont l'origine véritable et les véritables propagateurs de la vie, que la vie dans son histoire est intimement liée aux cellules, c'est là un fait qui ne soulève plus le moindre doute. Toutes les branches de la biologie trouvent donc leur point de réunion dans l'étude de la cellule; la pensée de l'unité de la vie dans tous les êtres vivants trouve dans la cellule sa représentation matérielle. Ce qu'on n'a cherché qu'en imagination, on l'a enfin trouvé dans la réalité; ce qui pour beaucoup ne paraissait qu'un rêve a pris un corps visible, et se trouve en réalité sous nos yeux.

Un noyau de structure spéciale, souvent muni d'un corpuscule de noyau ou nucléole spécial, entouré d'une masse plus molle condensée sur la périphérie en une membrane tantôt

Digitized by Google

plus tendre, tantôt plus dure, le tout formé de substances azotées de nature albumineuse, telle est la cellule organique. Elle est déjà en elle-même un tout complexe, un organisme en petit; elle est douée, par elle-même, de la propriété de mener une existence distincte, ainsi que nous le voyons d'une manière passagère dans la cellule de l'œuf des animaux, et d'une manière persistante dans les plantes inférieures; car, ou bien la cellule est déjà l'individu vivant lui-même, ou bien elle contient, au moins en germe, ce que nous appelons ultérieurement individu.

Mais la vie, outre les qualités générales et communes qui en font la vie, possède quelque chose de particulier, de propre, qui la distingue des autres espèces de vie. Et ces caractères particuliers et propres se retrouvent, eux aussi, dans la cellule. Plus la créature devient parfaite, plus l'organisme total le devient, plus les cellules deviennent variées. Dans plusieurs espèces d'algues, la plante totale est un pied composé de cellules de même espèce, rangées les unes à la suite des autres. Chez les vertébrés et chez l'homme, la disposition intérieure ne reste la même que pour les cellules d'un même tissu ou d'un même organe, pour les parties similaires dont l'existence était déjà soupçonnée par les anciens; au contraire, les cellules de tissus ou d'organes différents présentent de très-grandes différences dans leur disposition intérieure, souvent même dans leur apparence extérieure. Ces différences répondent à l'activité propre, aux fonctions propres de chaque tissu, de chaque organe; elles nous expliquent l'énorme variabilité des propriétés, non-seulement des parties isolées de l'organisme total, mais de chaque organisme complet en particulier. Elles nous font comprendre non-seulement comment, dans un certain genre ou dans une certaine espèce de plantes ou d'animaux, se présentent des particularités génériques ou spécifiques, mais encore comment chaque plante, chaque animal, dans son genre et dans son espèce, possède certaines particularités individuelles.

Ce sont des cellules qui donnent naissance à la couleur verte des feuilles, aux brillantes et merveilleuses couleurs des fleurs, sans pour cela cesser d'être des cellules. De même aussi ce sont des cellules qui produisent dans la plume et dans le poil, dans l'œil et dans le sang, ces colorations variées qui caractérisent, d'une manière si tranchée, le genre et l'espèce, la race et la variété, jusqu'à l'individu lui-même. A la matière colorante verte des feuilles, à la matière colorante rouge du sang, sont dévolues les fonctions de la respiration, que la cellule simple serait incapable d'accomplir. Ce sont des cellules qui produisent le bois rigide de l'arbre et la masse librement mobile du muscle; la dureté du bois, la force du muscle, ne varient pas seulement avec le genre et l'espèce, mais aussi avec le développement plus ou moins favorable de l'individu. Et ainsi l'analyse nous conduit, de plus en plus haut, jusqu'aux arrangements délicats du système nerveux, dans lequel on voit les manifestations les plus élevées de la vie animale, la sensation, la motilité, la pensée, liées à des groupes cellulaires déterminés.

La vie est l'activité de la cellule, ses caractères sont ceux de la cellule. La cellule est un véritable corps, composé de substances chimiques déterminées et construit d'après des lois déterminées. Son activité varie avec la substance qui la forme et qu'elle contient; sa fonction varie, croît et diminue, naît et disparaît avec le changement, l'augmentation et la diminution de cette substance. Mais cette matière ne diffère pas dans ses éléments de la matière du monde inorganique, inanimé, qui lui sert, au contraire, à toujours se compléter, et à laquelle elle retourne après avoir accompli son rôle spécial; ce qu'elle a de propre, c'est la manière dont elle est disposée, le groupement particulier des plus petites particules de la matière, et cependant ce groupement n'est pas tellement particulier qu'il soit en opposition avec les dispositions et les groupements que la chimie reconnaît dans les corps inorganiques. Ce qui nous paraît particulier, c'est le genre d'activité, ce sont les fonctions spéciales de la substance organique, et cependant cette activité, ces fonctions ne diffèrent pas de celles que la physique étudie dans la nature inorganique. Toute la particularité se borne à ceci, que dans le plus petit espace sont condensées les combinaisons les plus variées des substances, que chaque cellule est le foyer des actions les plus intimes, des combinaisons les plus variées, et qu'elle produit ainsi des effets qui ne se présentent nulle part ailleurs dans la nature, parce que nulle part on ne trouve une semblable intimité d'action.

Quelque spéciale, quelque particulière, quelque intime que soit donc la vie, elle n'est pas pour cela soustraite à ces lois chimiques et physiques. Bien plus, chaque pas nouveau que nous faisons dans la connaissance de la nature nous fait mieux comprendre les phénomènes chimiques et physiques dont l'accomplissement constitue la base de la vie. Chaque particularité de la vie trouve son explication dans des dispositions spéciales, soit anatomiques, soit chimiques de la matière, qui, dans ces dispositions, manifeste les propriétés qui lui sont toujours inhérentes, les forces; seulement ces manifestations semblent tout autres que dans le monde inorganique. Mais ce n'est là qu'une apparence, car les phénomènes électriques qui s'accomplissent dans les nerfs ne diffèrent pas, par leur nature, de ceux qui se passent dans les fils du télégraphe ou dans les nuages orageux; le corps vivant engendre sa chaleur par combustion comme nos poêles; l'amidon se transforme en sucre, dans l'animal et dans la plante, comme dans une fabrique de glycose. Il n'y a point ici opposition, il n'y a que particularité.

La cellule vivante n'est donc qu'une partie existant par elle-même, dans laquelle des substances chimiques connues, douées de leurs propriétés ordinaires, sont disposées d'une manière particulière, et prennent une activité conforme à cette disposition et à ces propriétés. Cette activité ne peut être qu'une activité mécanique. C'est en vain qu'on s'efforce de trouver une opposition entre la mécanique et la vie; l'expérience nous conduit toujours à la même conclusion : la vie n'est qu'un genre particulier de mouvement de substances déterminées, qui se mettent en activité par une nécessité intérieure lorsqu'elles subissent une excitation, une « impulsion ». Toute action vitale entraîne une modification des parties vivantes, ou plutôt toute modification des parties vivantes nous apparaît, tant que les parties sont vivantes, comme l'impulsion d'une activité, comme l'excitateur d'une manifestation vitale. Lorsque le muscle se contracte, les plus petites parties se disposent dans son intérieur d'une manière différente de celle qui correspond à l'état de repos, et il se produit des modifications chimiques par lesquelles certaines de ces parties sont détruites (modifiées). Mais le muscle ne se contracte pas de lui-même, il n'est pas lui-même l'excitateur des changements intérieurs, de l'activité; il reçoit l'excitation du dehors,

Digitized by Google

et il n'a pas le choix de se contracter ou non ; il est obligé de se contracter si l'excitation extérieure a été assez grande pour faire sortir du repos les particules intérieures. La loi de causalité est vraie aussi pour la nature organique.

N'est-ce pas là du matérialisme tout pur? Telle est la question habituelle qu'on entend faire maintenant, et qui implique déjà l'idée de condamnation. Combien ils sont en petit nombre ceux qui se donnent la peine d'attendre la réponse ! Comme s'il allait de soi que le jugement devrait être forcément une condamnation, si la réponse était effectivement affirmative. Ne serait-il donc pas possible que l'expérience, malgré sa contradiction avec les préjugés héréditaires, ait raison, et qu'on ait plutôt le droit d'exiger le sacrifice des préjugés que de condamner le résultat de l'expérience? Mais, en réalité, la conception mécanique de la vie n'est pas du matérialisme. Car, que peut-on entendre par ce mot, sinon la tendance à vouloir expliquer tout ce qui existe, tout ce qui se fait par les propriétés *connues* de la matière. Le matérialisme va au delà de l'expérience; il applique, à chaque phénomène, la mesure étroite de son savoir ; il se constitue à l'état de système.

Les systèmes ont une grande importance dans les sciences naturelles, mais ils n'ont cette importance que lorsqu'ils sont basés sur l'expérience. Mais la plupart des systèmes sont bien plus le résultat de spéculations que le résultat de l'expérience, parce qu'ils portent en eux un certain besoin de perfection, et que la spéculation seule peut satisfaire ce besoin ; car toute connaissance qui est le résultat de l'expérience est incomplète et présente des lacunes. Voilà pourquoi la science de la nature montre de nos jours, pour les systèmes, une aversion si profonde, qui, dans certaines branches des sciences naturelles, passe même à l'état de crainte. On les tolère pour ordonner les matériaux connus, pour les classer; mais ce n'est qu'avec la plus grande prudence qu'on s'en sert pour les expliquer. La crainte de dépasser les limites des connaissances acquises par l'expérience est si générale, que même les écrivains qu'on accuse le plus de matérialisme se gardent de vouloir établir un système.

La conception mécanique de la vie est si peu matérialiste, que les livres religieux eux-mêmes ne peuvent s'en passer. Déjà la Genèse de Moïse dit, en propres termes : « Et le Seigneur Dieu fit l'homme du limon de la terre; et il souffla dans ses narrines une respiration de vie »; et plus loin : « Il forma une femme de la côte qu'il avait prise d'Adam. » Cette manière de dépeindre la création terrestre et mécanique de l'homme, qui retourne à la poussière dont il a été formé, domine tellement nos traditions religieuses, qu'on ne peut certainement pas reprocher à la science de la nature d'être mécanique à un plus haut degré. Bien plus, sa mécanique est beaucoup moins imparfaite; elle ne se tient pas simplement à l'expression générale et grossière, elle cherche à mettre à profit les connaissances plus avancées de notre époque, pour expliquer l'ensemble des faits les plus délicats dans la création entière.

Plus d'une personne s'imagine que c'est là détruire toute conception idéale, toute rosée poétique. On plaint le chercheur qui se débarrasse des illusions de l'enfance; on se détourne avec crainte de l'expérience qui ne s'arrête plus aux phénomènes grossiers, mais qui pénètre dans la nature intime des choses. On se figure que le cœur des naturalistes se ferme aux images émouvantes du ciel et de la terre. En vain la nature se revêt de ses plus belles couleurs, en vain elle apparaît sous les formes les plus surprenantes ; devant l'œil froid du naturaliste, toute couleur, toute forme disparaît, et il ne reste plus, pour lui, que des atomes qui se meuvent sans liberté, sans but. La science ne fait que s'admirer, elle et ses victoires; se déifiant elle-même, elle n'a plus ni admiration, ni adoration pour d'autres grandeurs.

Quelle confusion! On n'a pas besoin d'être naturaliste pour avoir un cœur froid, un esprit obtus, pour se complaire à sa propre adoration, et s'endurcir au point de ne plus reconnaître les mérites d'autrui, de ne plus éprouver aucune espèce d'admiration. Les écoles philosophiques de l'antiquité nous ont déjà transmis cette maxime sévère : *Nil admirari!* C'est dans la nature et dans les dispositions de l'individu, tout aussi bien que dans la culture des masses, qu'il faut chercher pourquoi, à une même époque, les individus, et, à des époques différentes, les masses, ont des tendances si différentes à concevoir le monde des phénomènes d'une manière tantôt plus figurée, tantôt plus objective ; pourquoi, à différentes époques, l'individu lui-même se laisse guider tantôt par le sentiment, tantôt par la réflexion, et devient tantôt plus poëte, tantôt plus observateur. Dans les premières époques du développement des peuples, les dieux *eux-mêmes* parlent par la voix du tonnerre, et l'arc-en-ciel est un pont *réel* entre le ciel et la terre. A notre époque, l'enfant, la femme plus tendre, le poëte inspiré, peuvent suivre d'un regard plein d'espoir ou d'angoisses la course du « messager des nuages », ou bien apercevoir, dans les brouillards sans forme, toute espèce de formes merveilleuses ou connues : des fantômes ou des animaux, des visages humains ou des montagnes lointaines. L'homme calme doit-il suivre ces rêveurs? Faut-il, à chaque instant, appeler le surnaturel à son aide, ou donner un libre cours à tous les jeux d'une imagination capricieuse pour demander à la nature tous ses charmes?

Une nouvelle comète (1) se tient au ciel; depuis longtemps on n'en a vu de plus magnifique, de plus brillante. Devons-nous, de nouveau, la considérer comme un avertissement ou comme une menace pour un peuple coupable, comme un prophète de temps difficiles, de guerre, de famine ou d'épidémie? ou bien ne devons-nous voir en lui que la promesse d'une année favorable à nos vignobles? Le ciel n'a plus de pareils messagers à envoyer à sa guise pour remplir tel ou tel but. L'astronome trace à la comète son orbite et détermine la période de son évolution; elle reviendra un jour et elle sera forcée de revenir de nouveau. Et cependant quand alors les yeux des hommes se porteront sur elle pour l'observer, quand une autre génération, jouissant de connaissances scientifiques plus vastes, attendra peut-être avec impatience son retour, les flammes de ses puissantes gerbes de feu éclairant l'immensité de la nuit exciteront-elles moins d'admiration? L'apparition de ce voyageur revenu de loin n'éveillera-t-elle pas dans l'homme impressionnable ce sentiment d'admiration et de terreur que provoque en nous la vue de tout phénomène grandiose?

Non, les recherches naturelles n'effacent pas le sentiment du beau, elles n'affaiblissent pas l'impression du noble, elles ne tuent pas l'émotion que produit en nous la connaissance du beau et du juste. Les cîmes neigeuses des montagnes, les contours bleuâtres des côteaux, nos plaines verdoyantes, l'onde murmurante du ruisseau, les charmes de la fleur, ne

(1) Il s'agit de la comète de Donati.

Digitized by Google

manquent jamais d'exercer le plus grand attrait sur notre cœur. Nous aussi nous sommes poussés par le désir ardent de jouir de l'admiration paisible de la nature; notre fantaisie est, elle aussi, habile à peindre l'image d'événements étrangers, à créer, comme par enchantement, devant nos yeux, les faits du passé et de l'avenir, à orner le présent de combinaisons nouvelles, de formes nouvelles.

Mais notre imagination n'a pas besoin d'illusions. Pourquoi imaginer dans chaque arbre une dryade lorsque l'expérience nous apprend qu'il s'y trouve une vie bien plus riche que celle que pourrait produire une divinité subalterne? Pourquoi dans le mystère des cavernes placer des gnomes lorsque les forces de la pierre, de l'eau et de l'air, les actions concourantes ou opposées de la chaleur, de la vie animale et végétale nous offrent l'image d'une activité si immense. La connaissance de la loi est-elle donc si ennemie de toute émotion, de toute sensation? Oh! non, au contraire, elle augmente l'émotion, et il ne dépend que de notre propre disposition de diriger cette émotion vers le beau, vers le noble ou vers le sentimental. Le naturaliste n'a besoin ni du mauvais temps, ni de la comète, ni des phénomènes extraordinaires de la nature pour éprouver ces sentiments. Le ciel couvert d'une journée d'automne, le lever et le coucher du soleil, les phénomènes les plus ordinaires et les plus humbles de sa propre existence offrent une matière inépuisable non-seulement à sa raison mais aussi à son cœur. Et si le miracle perd son caractère d'illusion, s'il ne nous apparait plus que comme la manifestation de la loi elle-même, la loi en est-elle moins merveilleuse pour cela? le miracle moins étonnant? Peut-on réellement croire que le cœur humain sacrifie une source d'émotions quand l'illusion disparait et que le miracle n'est qu'un fait isolé, calculé pour un cas spécial? N'est-il pas bien plus saisissant de voir dans le miracle, subitement et dans une clarté resplendissante, la loi que le voile du mystère cachait autrefois à nos yeux?

Le miracle, c'est la loi, et la loi s'accomplit d'une manière mécanique dans la voie de la causalité et de la nécessité. La cause a pour conséquence nécessaire l'effet, et l'effet redevient de nouveau la cause d'un nouvel effet. Une chose produit l'autre, soit d'une manière ordinaire, soit d'une manière extraordinaire; le miracle reste le même; seulement l'extraordinaire frappe davantage, non-seulement le cœur, mais aussi notre esprit, il produit des impressions plus stables, et nous sera plus utile si nous sommes capables de le comprendre. Mais nous ne le comprendrons que dans son accomplissement mécanique de cause à effet. Car l'esprit de l'homme est impropre à toute autre manière de comprendre. C'est de l'illusion toute pure que de croire que nous avons le choix entre deux voies différentes. Ni la philosophie ni la religion ne peuvent suivre d'autre chemin sans arriver à des conséquences obscures, arbitraires, et par suite opposées à la nature véritable de l'esprit humain, et jusqu'ici nous avons vu tomber toute philosophie, toute religion qui ne s'est pas associée à la science toujours progressive, et qui n'a pas toujours résolu, dans le sens de l'expérience, les contradictions qui pouvaient exister entre la tradition et l'expérience. La réforme doit être permanente, et de même que les plus vieilles propositions des systèmes philosophiques et religieux ont emprunté aux connaissances expérimentales de leur époque leur signification et leur forme, de même leur sens et leur forme doivent céder aux progrès de la science. Le neuf paraît toujours dangereux tant qu'il est neuf. L'Église romaine elle-même s'est familiarisée avec l'astronomie, et la religion musulmane n'est plus hostile à l'anatomie.

Il est vrai qu'il existe encore un point où la victoire de la méthode des sciences naturelles est loin d'être assurée. La loi de causalité régit-elle aussi la vie spirituelle? La liberté existe-t-elle au moins ici, lorsque la nature entière est sous le règne de la nécessité? Il est difficile de traiter une question où tant de mauvaise volonté, tant d'illusions et tant de questions de sentiment viennent inutilement s'opposer au penseur paisible, où il est en même temps difficile de remplacer la mauvaise phrase par des idées saines. Qu'est-ce que la liberté? Est-ce la faculté d'agir comme bon nous semble? Suis-je complétement libre quand je fais ce que je veux, et puis-je réellement vouloir comme les hommes se l'imaginent? Qu'on essaye donc une fois, et l'on pourra facilement se convaincre qu'on se fait illusion. La liberté n'est pas le bon plaisir, la faculté d'agir *comme bon nous semble*, mais celle d'agir *raisonnablement*. Le simple bon plaisir, le caprice est sous la dépendance des impressions et des passions. L'homme véritablement libre arrive à se dominer lui-même et ses penchants; il apprend à opposer aux passions la force des principes de la morale. Il néglige de faire ce que ses passions le *poussent* à faire; il fait ce que le sentiment moral ou la conviction *l'oblige* de faire. Dans tous les cas il est poussé, toujours il se trouve dans la nécessité de procéder de la cause à l'effet. La liberté d'agir ne signifie absolument que la liberté de penser, et celle-ci à son tour ne signifie pas penser d'une manière tout à fait arbitraire, mais, au contraire, penser avec la nécessité provenant d'une loi, penser dans le cas le plus favorable, lorsque tous les obstacles sont mis le plus complétement possible de côté, lorsque la loi se manifeste de la manière la plus pure et la plus belle. Dans le domaine de la morale, le plus grand miracle consiste aussi dans la manifestation la plus simple, la plus immédiate de la loi.

Partout où nous jetons nos regards, nous voyons causalité, nécessité, conformité à la loi, et l'on veut faire du naturaliste qui ne cherche jamais que la loi, qui ne combat que l'arbitraire, le hasard, l'entêtement, on veut en faire un ennemi de l'idéal! Où y a-t-il donc jamais eu de philosophie plus idéale que la science actuelle de la nature? D'où viennent donc tous ces reproches qu'on nous fait de manquer de toute direction idéale? Qu'on ne se fasse pas illusion: tous ces reproches viennent du camp des spiritualistes, qu'ils représentent le spiritualisme d'une manière ouverte ou cachée.

Parmi les naturalistes aussi, il y a des spiritualistes, et presque toujours c'est dans le domaine de la vie organique qu'ils cherchent le fondement de leurs principes. Mais il est certainement très-curieux de voir, qu'en général, le spiritualisme ne s'empare du naturaliste que lorsque celui-ci veut explorer un domaine qui lui est étranger. Le chimiste n'est jamais spiritualiste quand il s'agit de chimie, mais il peut bien l'être quand il s'agit de physiologie, car, là, il n'est qu'un simple dilettante. On ne saurait se faire illusion là-dessus, pour chaque naturaliste, il y a certains domaines des sciences naturelles dans lesquels il est complétement dilettante, d'autres dans lesquels il n'est que dilettante à demi, et son dilettantisme ne se distingue du dilettantisme ordinaire du premier venu qu'en ce sens qu'il y a au moins *une* branche naturelle dans laquelle le naturaliste est maître.

Le biologiste a-t-il besoin du spiritualisme? Un des plus

Digitized by Google

grands chimistes de nos jours (1) a résolu affirmativement cette question. Il compare le corps vivant à un bâtiment qui se construit suivant un plan déterminé, fixé à l'avance. L'architecte conçoit le plan dans tous ses détails avant de commencer la construction; la pierre, le bois, tous les matériaux sont ensuite reliés entre eux jusqu'à ce que le plan avec toutes ses lignes et toutes ses proportions prenne corps et s'élève devant nos yeux. N'en est-il pas de même dans le corps? n'y travaille-t-on pas d'après un plan déterminé suivant lequel la matière se dispose? Est-ce la matière qui fait le plan?

Ici les questions s'élèvent rapidement au-dessus des limites de l'expérience; elles deviennent *transcendantes*. Le biologiste recherche tout d'abord le plan, ou, comme nous pouvons l'appeler, la loi. La première question qui se présente quand la loi est trouvée n'est pas de savoir qui a fait la loi, mais bien de savoir comment la loi, le plan s'exécute. Le plan, la loi a-t-elle en elle-même le moyen de se réaliser? a-t-elle une force agissante, de manière à pouvoir par elle-même mettre en mouvement la matière inerte et à lui faire prendre la forme organique? La loi a-t-elle la force et la matière n'a-t-elle d'autre propriété que l'inertie? Tout chimiste répondra que non. Une matière sans propriétés, sans forces, n'est rien; une loi avec force, un plan avec une action propre, est au contraire une substance. On a beau se débattre comme on veut, on a beau se figurer une substance aussi ténue, aussi immatérielle que possible, c'est toujours une substance, et si cette substance doit, comme cela se passe dans la vie, remplir les rôles les plus variés, produire le travail mécanique le plus complexe, elle est un esprit, un être organisé. Elle est *spiritus rector*.

Le chimiste n'hésite pas à admettre le *spiritus rector* aussi longtemps qu'il reste loin de son propre domaine. Dans son propre domaine, il se contente de la loi idéale et de la matière qui possède certaines propriétés et certaines forces. Mais ne se fait-il pas illusion sur les difficultés? La loi chimique non plus, dans sa signification purement idéale, n'a aucun moyen de dominer la matière; elle n'a pas de force mécanique pour accomplir le travail réel. Bien plus, c'est la matière chimique elle-même qui travaille, qui est active, selon ses propriétés spéciales, et la loi n'existe pas en dehors de la matière comme un tyran étranger, mais elle est complétement en elle.

Qu'on nous montre donc encore la différence qui existe entre le Travail chimique et le Travail organique! Le corps végétal ou animal se construit de matières chimiques qui se combinent entre elles, comme partout ailleurs, et le chimiste serait le premier à protester si l'on voulait y voir autre chose qu'un phénomène chimique. Nulle part *la main* de l'architecte ou de ses ouvriers n'est visible; plus nos recherches sont exactes, plus nous voyons que la matière elle-même est active, travaille. Les corps chimiques se placen d'eux-mêmes à la place qu'ils doivent occuper, ou bien ils y sont poussés par d'autres corps, mais nulle main étrangère ne peut toucher, sans le détruire, ce mécanisme si délicat. Toute chose étrangère devient un obstacle. Moins on dérange les substances dans leurs actions réciproques silencieuses, plus le plan s'exécute complétement pour prendre corps devant nos yeux, plus la loi se réalise. Cette loi peut-elle donc être autre part que dans la matière?

Il est complétement indifférent de considérer la création organique ou la création inorganique. Impossible d'y trouver un *spiritus rector*, un esprit de vie, d'eau ou de feu. Partout des actions mécaniques qui s'accomplissent continuellement avec la nécessité de la cause et de l'effet. Le plan est dans les corps, l'idéal dans le réel, la force dans la matière. Ici il n'y a de séparation que dans l'imagination; en réalité, les deux choses sont réunies et complétement inséparables. L'opposition entre force et matière disparaît complétement, le plan et l'exécution s'identifient, et celui qui demande quel est l'auteur du plan doit en même temps chercher à connaître l'auteur de la matière. Il ne s'agit plus alors d'un cas isolé; il ne s'agit plus de *spiritus* différents, auteurs et architectes, dont l'un fait croître les hommes, l'autre les animaux ou les plantes, dont l'un construit tel homme, l'autre tel autre homme. Il ne s'agit plus alors d'une question de science naturelle, qui, elle, n'étudie que l'univers tel qu'il est dans ses actions, mais qui ne possède aucun moyen de soumettre à l'expérience la formation primitive de la terre. Non, il ne s'agit pas alors d'une question scientifique, car personne ne sait ce qui était avant ce qui est. Ici sont les limites du transcendant; qui les dépasse se trouve en dehors du domaine des discussions scientifiques, qu'il tienne conseil dans l'asile secret de sa conscience, ses conclusions ne peuvent plus être l'objet de discussions générales; la nature de la foi est tellement intérieure, tellement personnelle, qu'on ne saurait y appliquer la mesure de la science générale, de l'expérience, de la connaissance objective.

La science naturelle n'a aucun pouvoir sur ce qui est en dehors du monde des phénomènes. Elle ne sait rien de l'origine du monde. Ses connaissances ont beau s'étendre au loin derrière nous (elles s'étendent bien au delà de l'origine du genre humain), elle n'a d'autres données que le monde qui existe, et son but est d'établir l'histoire du monde en se bornant à ces données. Depuis longtemps on est complétement d'accord que l'histoire des corps célestes peut être établie d'après des lois mécaniques, et, autant que possible, tracées en formules mathématiques. Pour les corps organiques, pour le monde animé, on s'est efforcé pendant longtemps de trouver de pareilles lois, mais presque toujours en vain. N'avait-on pas le droit de leur attribuer des forces particulières, dont l'action se distingue de la manière toute mécanique du reste de la nature? On peut faire de l'air et de l'eau, du feu et de la terre, ne pourrait-on pas aussi bien faire artificiellement des plantes et des animaux, voire même des hommes, si en réalité ils se produisent d'une manière mécanique?

C'est en vain que les savants du moyen âge se sont efforcés de fabriquer un *homunculus*. En vain nos savants modernes cherchent la possibilité de faire une cellule. La théorie de la génération spontanée (*generatio æquivoca*), d'après laquelle des êtres vivants sortiraient de la matière inanimée sans provenir de parents, se voit reléguée de plus en plus loin, et les organismes les plus inférieurs, les plus délicats du règne végétal et animal permettent seuls de renouveler encore de nos jours cette antique querelle. Pour tous les organismes plus parfaits, la génération spontanée est éliminée; chaque plante a son germe, chaque animal son œuf ou son bourgeon, chaque cellule provient d'une cellule-mère. C'est justement dans ces dernières années que nous avons réussi, même dans l'histoire

(1) Liebig, *Ueber unorganische Natur und organisches Leben*, Augsb. *Allg. Zeitung*. 1856, n° 24.

Digitized by Google

de la maladie, à saper les derniers fondements de la génération spontanée, en montrant que toute formation nouvelle, tout abcès, toute excroissance maladive peut être ramenée à un tissu primitif appartenant au corps sain.

Le monde vivant forme donc une longue série non interrompue de générations dans laquelle l'enfant devient mère, l'effet devient cause; une chaîne continue d'anneaux vivants dans laquelle se propage continuellement un mouvement extrêmement complexe, mais toujours mécanique, toujours rajeuni, toujours nouveau! Nous ne voyons ici que propagation, nulle part une origine nouvelle, et le mouvement mécanique de la vie se distingue nettement du mouvement mécanique du reste de la nature, parce que l'organisation une fois fixée, mais qu'il est impossible de produire artificiellement, renferme en elle le germe de la nouvelle organisation qui en sort. Aussi loin que nous voyons ce mouvement se développer sous nos yeux, il nous apparaît comme un mouvement spécifique différent, divisé en un grand nombre de séries constantes, entre lesquelles n'a lieu aucune liaison immédiate. La plante engendre de nouveau des plantes, l'animal des animaux. Même une espèce déterminée de plantes ne produit que des plantes de la même espèce, et jamais d'une espèce différente; l'animal ne se propage que dans les limites de son espèce. Si l'espèce meurt, elle est éteinte pour toujours. Il y a plus, le développement maladif est fixé aux limites établies de l'espèce; même dans les conditions pathologiques les plus différentes, le corps humain, ainsi que j'ai cherché à le démontrer, ne donne naissance à aucune forme organique, à aucun tissu cellulaire qui n'ait son pareil dans l'état de santé. Toute formation physiologique et pathologique n'est que la répétition, la reproduction tantôt plus simple, tantôt plus compliquée de types une fois classés. Le plan de l'organisation est invariable dans les limites de l'espèce; l'espèce ne sort pas de l'espèce.

C'est pour cela qu'il n'est pas besoin d'un plan nouveau pour chaque être vivant isolé qui doit naître ou être engendré. Le plan existe déjà dans le tissu mère; il est lié à la substance organique, et pour qu'il se réalise, pour qu'il prenne corps devant nos yeux, l'activité de la matière est nécessaire, activité qui est excitée d'une manière tout à fait mécanique. Impossible à un spiritualisme quelconque d'aller au delà de cette connaissance expérimentale.

Mais ces espèces reconnues dans les êtres animés, ces prototypes des générations ultérieures n'existaient pas toujours. L'histoire de notre globe nous apprend qu'une espèce a pris naissance après l'autre, et ici nous voyons de nouveau se dessiner la grande différence qui sépare la nature inorganique de la nature organique. Nulle part nous ne trouvons l'origine du monde; impossible d'aller au delà du monde. Mais la vie a eu nécessairement un commencement, car la géologie nous conduit à des époques de la formation de la terre où la vie était impossible, où l'on n'en retrouve ni traces ni débris. Mais si la vie a eu un commencement, il doit être possible à la science de déterminer scientifiquement les conditions de ce commencement. Jusqu'ici le problème n'est pas résolu. Il y a plus, nos observations ne nous permettent même plus de regarder l'invariabilité des espèces, qui nous paraît si bien établie de nos jours, comme une loi ayant toujours existé, car la géologie nous fait connaître une espèce de gradation suivant laquelle les espèces se sont succédées, les espèces supérieures venant après les espèces inférieures, et quoique les observations actuelles combattent cette hypothèse, je suis forcé d'avouer que je regarde comme une nécessité scientifique de revenir de nouveau à la possibilité de la transformation d'une espèce dans l'autre. Alors seulement la théorie mécanique de la vie acquiert une véritable certitude dans cette direction.

En attendant, il existe là une lacune profonde dans nos connaissances. Nous est-il permis de la combler par des suppositions? Certainement, car ce n'est que par des suppositions que les voies de la recherche peuvent être tracées dans des domaines nouveaux. Il existe bien une autre manière de remplir ces lacunes. On peut puiser dans les traditions religieuses l'histoire de la création, et par là vouloir tout simplement exclure les recherches. Mais je vous le dis hautement, on n'a aucun droit, même en admettant la création personnelle, de regarder comme intolérables les recherches faites dans le but de connaître l'accomplissement mécanique de cette création, ce serait contraire à la nature humaine, ce serait une attaque contre l'esprit. Si la religion elle-même nous dépeint la création comme un acte purement mécanique, comment peut-on vouloir défendre à la science de comprendre cette mécanique? Puisque nous ne pouvons que penser mécaniquement sur les phénomènes de la nature, on ne peut nous le prendre en mal si nous appliquons cette manière de penser à tous les phénomènes de la nature. C'est là la liberté de la science, liberté sans laquelle on pourrait l'enchaîner à chaque instant dans ses investigations.

Malheureusement, de nos jours encore, on trouve assez de ces prophètes de malheur qui voient dans cette liberté de la science les plus grands dangers pour l'État et pour l'Église. Est-il encore nécessaire de les combattre? Si la science cesse d'être vraie, ne porte-t-elle pas en elle les armes nécessaires pour combattre l'erreur? Si l'État, tel qu'il est, si l'Église, telle qu'elle s'est constituée dans la suite des siècles, n'étaient pas capables de supporter la vérité, ne serait-ce pas là une preuve certaine qu'ils auraient eux-mêmes cessé d'être vrais N'est-ce pas la science qui s'efforce de plus en plus d'arriver à la connaissance de la vérité, qui proclame de plus en plus hautement la domination de la loi? Certainement la science n'est un danger que pour l'erreur, pour l'arbitraire, pour les institutions humaines. Plus elle s'adonne librement à la nature, plus elle peut répandre de bénédictions sur l'humanité, et aucune époque ne devrait, plus que la nôtre, se montrer reconnaissante envers la science. Elle ne provoque pas seulement le développement matériel des peuples. La superstition disparaît de plus en plus, et, avec elle, la tendance au mysticisme, les préjugés de la tradition. Aux explications purement négatives se substitue de plus en plus sûrement la conviction positive de la relation intime qui existe entre tous les phénomènes de l'univers, du progrès continuel du développement, de la solution de toutes les oppositions dans une unité supérieure.

Traduit sur le texte allemand de M. R. VIRCHOW par FELTZ.

Digitized by Google

MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE.

ZOOLOGIE

(Annélides, Mollusques, Zoophytes).

COURS DE M. LACAZE-DUTHIERS.

III.

De Lamarck (fin).

Cette deuxième leçon sur de Lamarck aura pour objet l'examen des idées qu'il a professées sur les questions de l'espèce et de la série animale, ainsi que l'étude de ses classifications zoologiques. Mais auparavant il est bon de rappeler ce que nous avons déjà vu, et de résumer les doctrines ou hypothèses de de Lamarck qui viennent d'être exposés.

Nous avons fait remarquer précédemment un contraste frappant entre les travaux de Lamarck. S'il reste observateur, s'il ne s'abandonne pas aux élans de l'imagination, il est précis et clair; c'est en suivant l'impulsion de ce côté exact et positif de son esprit, qu'il inventa et préconisa la méthode dichotomique à laquelle il doit ses premiers succès et qui marque son entrée dans la science. S'abandonne-t-il à la spéculation, on le voit aussitôt sortir de la voie de la vérité; il crée un système de genèse entièrement hypothétique, basé même sur des erreurs incontestables.

On a vu comment procède de Lamarck et quel est l'enchaînement de ses conceptions philosophiques. Le premier problème qu'il cherche à résoudre est celui de l'apparition initiale de la vie : pour lui le corps organisé est le résultat de forces physiques. La première agissant de ces forces, l'attraction, assemble les molécules : de là, formation de ces petites masses gélatineuses dans lesquelles les forces répulsives, chaleur, électricité, produisent à leur tour de petites vacuoles, et la masse est devenue celluleuse. Alors l'orgasme se produit, et l'absorption s'établit. La croissance de l'être nouveau peut commencer.

A cette théorie nous avons fait des objections. Nous lui avons d'abord reproché d'être purement hypothétique, de ne pouvoir être démontrée directement par des faits. Puis nous n'avons pu comprendre pourquoi ces actions physiques, semblables au début dans les deux règnes, produisaient tantôt un végétal et tantôt un animal.

Enfin, nous pouvons ajouter une observation nouvelle à celles que nous avons précédemment présentées : pourquoi le calorique nécessaire à la formation de l'organisme nouveau agit-il à son tour et en second lieu après la force réunissante? Ces forces contraires se trouvent pourtant toutes deux en même temps dans le milieu humide où sa vie va apparaître. Qu'est-ce qui subordonne la force répulsive à la force unissante, et oblige la première à n'agir que lorsque l'attraction a rempli son rôle? Si toutes deux existent en même temps dans le milieu, on ne voit pas pourquoi l'une précède l'autre dans le travail formateur du corps organisé. Ici encore nous trouvons un côté attaquable dans la doctrine tout hypothétique.

Il est maintenant nécessaire, pour compléter ces notions sur la théorie de Lamarck, touchant la genèse et la formation des êtres, de donner quelques définitions, de développer le sens qu'il attache aux mots qu'il emploie. On se rappelle cette phrase citée plus haut : « La nature crée elle-même les » premiers traits de l'organisation dans les masses où il n'en » existait pas; et ensuite l'usage et les mouvements de la vie » développent et composent les organes. » (*Phil. zool.*, vol. II, p. 62). Nous avons donc à exposer ce que de Lamarck entend par *vie* et par *nature*. Les idées qu'il se fait de ces deux principes, qui, selon lui, président à la formation des organismes élémentaires, ne sont pas celles de tout le monde : nous devons donc nous y arrêter.

Voyons d'abord ce qu'est pour lui la nature. Avant de la définir, avant de développer ce qu'il entend par ce mot, il en précise le sens et fait remarquer la confusion singulière qui existe dans le langage. Tantôt en effet, on veut désigner par ce mot, Dieu, la puissance créatrice, *nisus formativus*, le *natura naturans* de l'école allemande; d'autres fois au contraire, il indique la création, l'univers, l'ensemble des êtres matériels, *natura naturata*. C'est donc la confusion la plus grande que l'on puisse imaginer, puisque tour à tour ce mot désigne la cause et l'effet, la puissance formatrice et la chose formée. Pour de Lamarck, la nature est une chose bien distincte, bien définie, qu'il ne faut confondre ni avec Dieu, ni avec l'univers.

Pour lui en effet, le mot *univers* doit servir à désigner « l'en- » semble inactif, et sans puissance qui lui soit propre, de tous » les êtres physiques et passifs, c'est-à-dire de toutes les ma- » tières et de tous les corps qui existent. » (*Anim. s. vert.*, vol. I, p. 258). L'univers est, comme on le voit, dans ce que nous appelons la nature, quand nous sommes livrés à la contemplation du monde physique qui nous entoure, la partie qui est passive, et sans activité, sans action; c'est la matière, sous les formes très-diverses et variées qu'elle peut revêtir.

Dieu, au contraire est l'être et l'auteur suprême; c'est l'intelligence des intelligences, c'est la puissance sans bornes, sans limites, sans dépendance; puissance créatrice de toutes choses, qui n'est astreinte et soumise à aucune loi, qui a créé celles que nous voyons régir la matière, qui pourrait les modifier et les détruire. En regardant la nature comme étant Dieu lui-même, « chose étrange! on a confondu la montre avec l'horloger, l'ouvrage avec son auteur. » (*Anim. s. vert.*, vol. I, p. 264). Dieu est, en un mot, l'auteur de la nature.

La nature elle-même n'est pas une force intelligente et libre; c'est un pouvoir aveugle qui fait, et qui ne pourrait faire autrement qu'il ne fait. « Le pouvoir général qui en- » veloppe dans son domaine tous les objets que nous pou- » vons apercevoir, de même que ceux qui sont hors de la » portée de nos observations, et qui a donné immédiatement » l'existence aux végétaux, aux animaux ainsi qu'aux autres » corps, est véritablement un pouvoir limité et en quelque » sorte aveugle, un pouvoir qui n'a ni intention, ni but, » ni volonté; qui ne saurait faire autre chose que ce » qu'il fait, en un mot, un pouvoir qui n'existe lui-même » que par la volonté d'une puissance supérieure et sans » bornes qui, l'ayant instituée, est réellement l'auteur de tout » ce qui en provient, de tout ce qui existe. » (*Anim. s. vert.*, vol. I, p. 255).

Ainsi la nature n'est pas la puissance créatrice; l'Auteur suprême l'a créée, l'a faite puissance agissant d'après les lois qu'il a établies. C'est en quelque sorte un pouvoir exécutif qui fait, et ne peut pas faire autrement qu'il ne fait, agit sans qu'il puisse modifier sa manière d'agir. Cette puissance

(1) Voyez les numéros 16 et 18.

Digitized by Google

ne varie ses actes qu'avec les circonstances, c'est-à-dire suivant qu'elle doit s'exercer sur telle ou telle partie des choses faites par Dieu. Elle ne crée pas la matière; elle agit seulement sur elle pour lui donner la forme. C'est elle qui met à exécution ce que Dieu a voulu, pour former l'univers ou l'ensemble des corps et des matières, des êtres physiques et passifs.

« La nature est donc un ordre de choses étranger à la ma-
» tière... dont l'ensemble constitue une puissance inaltérable
» dans son essence, assujettie dans tous ses actes, et constam-
» ment agissante sur toutes les parties de l'univers. » Ainsi ce n'est pas un être, ce n'est pas plus une matière : elle est un ensemble de lois et de causes, produisant sans raison; elle est fatale, dépendante, et son rôle est de modifier la matière suivant les circonstances.

Nous pouvons mieux comprendre maintenant ce que de Lamarck veut dire, quand dans sa théorie des générations directes il écrit : « La *nature* crée elle-même les premiers traits de l'organisation. » Dieu a fait la matière, les molécules préexistantes; mais il a confié à la nature des lois physiques, qu'il a faites aussi, les forces attractives et répulsives, pour qu'elle ait à former les organismes élémentaires. Nous trouvons ici les deux principes formateurs, Dieu qui ordonne, la nature qui exécute, et le résultat formé, l'organisation, qui n'est que le produit de la modification par les lois naturelles de la matière créée primitivement.

La nature, qu'il ne faut donc pas confondre avec la matière, et qui en est indépendante, se compose de deux choses : d'abord, du *mouvement* que nous ne connaissons que par le déplacement des corps, et qui n'est pour nous qu'une modification dans l'état d'un corps qui change de lieux; elle se compose, d'autre part, de *l'ensemble des lois* de tout ordre, qui immuables régissent tous les changements des corps. Elle a à sa disposition l'espace et le temps : l'espace, pénétrable, infini, qui ne paraît fini que dans les corps limités et bornés que nous mesurons; le temps ou la durée, qui n'est qu'une continuité infinie que nous mesurons encore par nos observations finies.

En résumé, quand nous considérons le monde qui nous entoure, nous y voyons l'univers, ensemble physique des choses créées. Ce qui anime et met en mouvement cet univers, c'est la nature; les changements, les actions réciproques, les agitations, les mutations, les altérations, les formations des corps, nous démontrent la nature, cette force aveugle et fatale qui les régit. Qu'on nous permette une dernière citation, elle aidera à nous bien pénétrer de la pensée de de Lamarck :
« Si la nature, dit-il, ne peut autre chose *sur la matière* que
» la modifier, qu'en déplacer, réunir, détruire et combiner
» les portions; *sur le mouvement*, que le diversifier d'une in-
» finité de manières différentes ou l'opposer à lui-même; *sur*
» *ses propres lois*, qu'employer nécessairement celle qui, dans
» chaque circonstance, doit régler son opération; *sur l'espace*,
» qu'en remplir et désemplir localement et temporairement
» des parties; en un mot, *sur le temps*, qu'en employer des por-
» tions diverses dans ses opérations : elle peut tout néanmoins,
» à l'aide de ces moyens, et c'est elle effectivement qui fait
» tout, relativement aux différents corps et aux faits physiques
» que nous observons. » (*Anim. s. vert.*, vol. I, p. 271.)

Ainsi, tout ce qui n'est pas attribut divin, c'est-à-dire tout ce qui n'est pas matière, mouvement, lois, espace et temps, dépend de la nature, qui est comme l'instrument employé par Dieu pour façonner les corps. « Elle n'est, en quelque sorte,
» qu'un *intermédiaire* entre Dieu et les parties de l'univers
» physique, pour l'exécution de la volonté divine. » (*Anim. s. vert.*, vol. I, page 272.) Et le suprême auteur de tout ce qui est, l'est directement de la matière ainsi que de la nature, et il ne l'est qu'indirectement de tout ce que celle-ci a le pouvoir de produire.

Telle est la définition que de Lamarck nous donne de la nature, qui n'est pas un *être*, mais une *puissance*, obéissant aux lois qui lui sont imposées, et qui, suivant les circonstances, avec l'aide des forces attractives et répulsives, façonne dans le temps et l'espace les premiers rudiments des êtres. Elle a été créée par Dieu pour régir la matière suivant les lois immuables qui lui sont imposées. — Une pareille conception ne montre-t-elle pas à la fois un grand penseur et un esprit éminemment porté aux conceptions philosophiques les plus élevées?

Voyons maintenant comment de Lamarck entend et définit la vie.

Dès l'abord, il reconnaît et déclare avec beaucoup de raison que la solution de cette question n'est pas des plus faciles. « Il était, dit-il, beaucoup plus aisé de déterminer le cours
» des astres observés dans l'espace, et de reconnaître les dis-
» tances, les grosseurs, les masses et les mouvements des
» planètes qui appartiennent au système de notre soleil, que
» de résoudre le problème relatif à la source de la vie dans
» les corps qui en sont doués, et à l'origine ainsi qu'à la pro-
» duction des différents corps vivants qui existent. » (*Phil. zool.*, 1 vol., page 362.) Cette opinion de de Lamarck est certainement vraie : rien n'est difficile comme une définition exacte, précise et claire de la vie. Une preuve évidente de cette assertion, c'est l'incertitude; où l'on est encore sur le sens que l'on doit attacher à ce mot et si le temps nous le permettait, si nous pouvions le faire sans dépasser les bornes que doivent nécessairement avoir ces leçons d'introduction, il serait curieux de passer en revue les opinions diverses et souvent diamétralement opposées que les hommes les plus éminents ont émis sur la vie. Mais pareil examen nous entraînerait trop loin. — Nous allons suivre de Lamarck dans son raisonnement, dans l'exposition de faits et d'arguments philosophiques, souvent abstraits et difficiles; nous ferons tous nos efforts pour rendre évidente la pensée de notre grand zoologiste.

Voyons d'abord sa définition; nous chercherons ensuite à en comprendre les termes et la valeur. « La vie, dans les par-
» ties d'un corps qui la possèdent, est un ordre ou un état de
» choses qui y permettent les mouvements organiques; et ces
» mouvements, qui constituent la vie active, résultent de l'ac-
» tion d'une cause stimulante qui les excite. » (*Phil. zool.*, vol. I, page 403.)

La vie n'est donc ni un être, ni une force, c'est un état résultant de nombreuses conditions.

Dans cette définition, il y a trois choses : un état qui permet des mouvements, un mouvement, une cause de mouvement. On a souvent comparé la vie, ou mieux sans doute le corps vivant à une montre dont le mouvement est en activité. De Lamarck trouve la comparaison incomplète. Qu'y a-t-il, en effet, dans la montre? Deux choses : les rouages, qu'il appelle l'équipage du mouvement, le ressort ou principe d'action. Dans le corps vivant, au contraire, il y a trois choses : les organes ou équipage du mouvement, les fluides contenus et en mouvement, enfin la cause excitatrice des mouvements vitaux,

Digitized by Google

Mais si l'on réunit les fluides contenus et en mouvement aux organes ou équipage du mouvement vital, la comparaison, dit Lamarck, peut être rétablie, et dans l'être qui vit, comme dans la montre, on trouve ainsi deux choses : l'organisme ou le mécanisme en mouvement, le ressort ou l'excitant.

Quelles seront donc les conditions nécessaires à la vie? Que faudra-t-il pour qu'elle existe et se manifeste ?— Il lui faudra d'abord une disposition telle des parties contenantes que les mouvements puissent s'y accomplir; les organes ou équipage de l'action vitale doivent être dans un état qui permette le déplacement des parties contenues. Il lui faudra en second lieu l'existence d'un ressort, d'un stimulus, d'un excitant qui détermine les mouvements que la première condition suppose pouvoir s'accomplir. En un mot, il faut qu'il existe un rapport tel entre ces trois choses, stimulus, appareil du mouvement, parties mobiles, que le mouvement existe ou puisse exister. Et ce mouvement, dû à cet état de choses et de conditions, c'est la vie.

Mais il reste la plus grande difficulté du problème à résoudre : il faut, en effet, trouver et définir cette cause d'action, ce ressort, ce moteur vital. De Lamarck croit l'avoir trouvé. Il dit, en effet, avec une assurance qui dénote une conviction des plus profondes : « Quant au ressort, moteur essentiel et » provocateur de tous les mouvements, il a jusqu'à présent » échappé aux recherches des observateurs : je me flatte ce- » pendant de le signaler, de manière qu'à l'avenir on ne » puisse le méconnaître. » (*Phil. zool.*, vol. I, page 403.)

Posée ainsi qu'elle l'est ici, la question de la vie se réduit donc à déterminer la cause excitatrice du mouvement vital. Ce que nous savons déjà sur la formation des corps produits directement ou spontanément par la nature va nous faire comprendre la solution que de Lamarck donne de ce problème.

La nature, avons-nous vu, dispose de forces contraires : les unes *attractives*, qui rapprochent les molécules, les autres *répulsives*, qui pénètrent les corps et produisent l'état cellulaire. Ces forces répulsives sont dues au calorique et à l'électricité ; leur action dans la masse cellulaire produit des alternatives de distention et de relâchement dont le résultat est l'apparition des premiers mouvements vitaux. De ces deux fluides, l'un est surtout expansif, c'est le calorique; il agit sur le contenant après avoir pénétré les corps, et produit en eux cette tension ou orgasme qui à son tour va devenir principe agissant. L'autre est essentiellement moteur : l'électricité, mobile et changeante, agit sur les fluides contenus et détermine chez eux des mouvements que nous allons voir, par leur action sur l'orgasme, produire l'irritabilité. Or, ces deux fluides, chaleur et électricité, sont la cause, le ressort et le mobile excitateur du mouvement organique qui caractérise la vie.

Si tel est le principe de la vie, nous pourrons désormais la comprendre et la définir dans son ensemble, car nous connaîtrons le stimulus et la manifestation, le *pourquoi* et le *comment* du mouvement.

Supposons que telle soit la vérité, admettons sans la discuter la théorie de de Lamarck et voyons quelques-unes des déductions qu'il en tire.

Il s'en sert d'abord pour expliquer le phénomène de la réviviscence observé sur certains être organisés. On sait que si l'on dessèche certains animaux, et les premières expériences ont porté sur le groupe des Rotifères, la vie semble les abandonner; l'animal ne fait plus aucun mouvement, il est modifié dans sa forme, et paraît réellement mort. Mais si après un temps variable on rend de l'eau à ses tissus, peu à peu les mouvements reparaissent et l'animal ressuscite : la mort n'était qu'apparente. La doctrine de de Lamarck fournit à ce singulier phénomène une explication toute naturelle. Qu'a produit en effet la dessiccation? Elle a enlevé à l'animal par évaporation l'eau ou l'humidité qui sont nécessaires à la manifestation de sa vie ; elle n'a pas altéré l'*équipage du mouvement* et le stimulus, chaleur et électricité, persiste et serait encore prêt à agir s'il ne lui manquait la condition qui lui permet de manifester son mouvement. Il s'en suit que la vie n'est pas détruite dans cet animal, elle n'est que suspendue: une condition qui est indispensable à sa manifestation a été enlevée, mais elle n'en existe pas moins et par sa cause et par les éléments sur lesquels elle doit agir. Si l'on rend de l'eau à l'animal, les trois conditions du mouvement se trouvant remplies, la vie se montre de nouveau, par la possibilité nouvelle de se manifester.

Prenons un autre exemple parmi les déductions nombreuses que Lamarck tire de sa doctrine de la vie. Ce n'est plus des animaux inférieurs, mais bien des mammifères et de l'homme qu'il est ici question.

On sait qu'on a pu rappeler à la vie des hommes asphyxiés par submersion, bien longtemps après la cessation des phénomènes vitaux ou organiques; on sait qu'après trois quarts d'heure, peut-être plus, de mort apparente, des noyés ont pu revenir à la vie, si l'on déterminait une réaction vive dans leur organisme. Qu'est-il arrivé dans ce cas? Nous venons de voir que la cause essentielle de la vie est constituée par le calorique et l'électricité ; tandis que les animaux inférieurs empruntent ces fluides indispensables au milieu ambiant, l'homme et les êtres d'une organisation supérieure les tirent surtout de leur sang. Chez eux la circulation porte dans toutes les parties du corps le stimulus vital et détermine partout l'orgasme. Qu'une cause quelconque arrête ce mouvement circulatoire, et les éléments profonds des organes se trouvent ainsi privés du principe même de leur manifestation comme corps vivants. Dès lors l'orgasme s'affaiblit, et bientôt la vie semble avoir cessé. Mais si par une secousse, un moyen quelconque, la circulation peut être rétablie avant qu'une autre cause de destruction, l'altération dans la composition des éléments, se soit produite, elle reportera dans les organes l'excitant du mouvement et de la vie, et l'homme qui semblait mort existera de nouveau. Dans notre premier exemple, c'est la condition de la manifestation qui était venue à manquer, ici c'est le principe même de la vie qui fait défaut : d'un côté comme de l'autre le résultat est le même; un désordre quelconque dans l'ensemble harmonieux qui produit la vie arrête le mouvement qui la démontre.

La vie est donc « un état des parties qui permet le mouve- » ment des fluides, et cet état est causé par un excitant. » Ce n'est pas un être, une force, un corps, mais un état particulier, un rapport entre le contenant, le contenu et le mouvement de l'intérieur causé par la chaleur et l'électricité ; c'est une puissance née d'un état de choses particulier.

Ainsi, pour revenir en le résumant sur l'ensemble des idées de Lamarck touchant la formation directe des organismes élémentaires, nous voyons à l'origine de toutes choses, Dieu, puissance libre, créatrice de la matière et de la nature. A son tour et en second lieu, la nature agit sur la matière, et donne

Digitized by Google

la forme à l'univers ; mais son action est aveugle, toute physique, différente par conséquent de l'action divine qui est voulue et raisonnée. Enfin la vie apparaît dans les êtres organisés où elle résulte de l'état particulier des choses produit par la nature à l'aide des forces dont elle dispose.

La nature a donc créé les premières ébauches des êtres; elle a, pour ce résultat, façonné la matière passive et lui a donné la vie ; ainsi ont été directement ou spontanément formés les plus inférieurs des végétaux et des animaux. Nous avons maintenant à suivre ces êtres à organisation élémentaire, à voir ce qu'ils vont devenir. Laissons-nous pour cela guider par de Lamarck, et de déduction en déduction, nous arriverons bientôt à étudier avec lui la question de l'espèce, et les classifications qu'il a proposées.

Le corps organisé créé comme on vient de le voir présente la composition la plus élémentaire, il a forme de cellule. Quels vont être les effets sur sa constitution de la vie qui est en lui? Nous allons voir quelles opinions a soutenues de Lamarck sur ces modifications postérieures du corps vivant; elles ont été vivement critiquées par les uns, ardemment défendues par les autres, et portent un grand caractère de hardiesse.

Le premier effet de la vie c'est la formation des organes. Nous avons déjà cité ce texte : « L'usage et les mouvements » de la vie développent et composent les organes. » Cette assertion est le second point de départ de sa théorie de la création directe des êtres par la nature. — Pour que les organes se forment ainsi, une condition est nécessaire, et il l'expose dans le passage suivant :

« J'ai dit que le tissu cellulaire est la gangue dans laquelle » tous les organes des corps vivants ont été successivement » formés..... que sans ce tissu aucun corps vivant ne pourrait » exister et n'aurait pu se former. » (*Phil. zool.* vol. II, p. 47.)

Une remarque se présente ici : ce texte n'est-il pas l'exposé de la théorie cellulaire moderne, moins la notion précise de l'élément? On dit quelquefois que le génie devance son siècle et fait entrevoir ce qui ne sera que plus tard vérité reconnue. On a dit cela de Buffon, et, à certains points de vue, c'était avec raison. Cependant en ce qui concerne ce grand penseur et ce grand écrivain, il y a des restrictions à faire : car, si l'on trouve dans son œuvre des théories confirmées plus tard par l'observation, on y rencontre aussi des erreurs singulières auxquelles il tenait autant, et peut-être plus, qu'aux grandes conceptions qui nous étonnent. De Lamarck a entrevu de même une sorte de théorie cellulaire, et lui a donné une importance considérable parce qu'elle se rattache à sa première idée de la formation de la sphérule organique primitive. Mais c'est seulement à ce point de vue des modifications de la cellule initiale qu'il s'est placé, évidemment il n'a pas en réalité découvert la théorie cellulaire telle qu'elle est professée de nos jours.

La vie existe, avons-nous vu, dès qu'il y a mouvement. Mais la cause excitatrice composant l'organisme et le développant conduit bientôt l'être vivant à ce moment où il va passer à l'un ou l'autre des deux règnes, se caractériser comme animal ou comme végétal. Nous avons déjà dit, d'après de Lamarck, que si la masse est gélatineuse il naîtra un animal, si elle est mucilagineuse il se formera un végétal. Mais comment est régie cette modification? C'est la composition chimique qui la détermine. Si cette composition chimique est celle du mucilage, les forces répulsives ou les fluides subtils ne pourront déterminer dans la masse organisée une tension forte ; l'orgasme sera obscur et presque nul : ce sera la condition du végétal. Si, au contraire, la composition chimique est celle de la gélatine, le calorique déterminera un orgasme excessif, lequel à son tour conduira par son exagération à l'*irritabilité* qui ne se trouve point dans les végétaux.

Qu'est-ce que l'irritabilité? Comment la concevoir, d'après de Lamarck? L'irritabilité est un phénomène local produit par une action locale. Elle est le résultat de deux actes différents, et consiste en une contraction, un affaissement subit de l'élément vivant sous l'influence d'un agent extérieur, affaissement bientôt suivi d'une tension, d'un mouvement expansif également prompt et subit. La répétition du phénomène, cette alternance de concentration et de répulsion moléculaire, donne lieu à une apparence de contractions successives ou de frémissement.

La cause essentielle de ces mouvements de l'irritabilité c'est d'une part l'orgasme, ou le calorique accumulé produisant la tension du corps organisé élémentaire ; si d'autre part une cause quelconque vient à dissiper, à soutirer en quelque sorte le calorique, avec la cause l'effet disparaît, la tension cesse. Il se produit alors un affaissement, une contraction, dus à cette cause externe qui a détruit l'action du calorique. Mais agissant à son tour, l'électricité peut alors brusquement changer l'état du corps vivant, y rétablir la tension primitive : de là frémissement, trépidation de l'élément ; de là cette apparence de contraction vague et ondulatoire, de palpitation, qu'on observe quelquefois sur les viandes de boucherie, phénomène d'irritabilité qu'on désigne sous le nom de *chair palpitante*.

Il faut se garder de confondre l'irritabilité avec la sensibilité. L'irritabilité se produit en effet indépendamment de tout organe; c'est un résultat immédiat et général de la vie, non l'acte fonctionnel d'un organe spécial. La sensibilité, au contraire, nécessite pour se produire cet organe spécial; et précisément parce qu'elle est telle, elle cesse immédiatement après la mort, tandis que l'irritabilité persiste au delà, tant qu'il n'y a pas altération dans la composition de l'élément organique.

Faisons maintenant un pas de plus, allons plus loin encore dans l'examen de ces produits ou de ces résultats de la vie.

Nous avons vu qu'elle existe avant que l'orgasme n'ait apparu; puis l'orgasme est engendré et son action opposée à des actions contraires conduit bientôt à l'irritabilité. Cette propriété du corps vivant va conduire elle-même à quelque chose de plus, ce sera un nouveau progrès réalisé dans le perfectionnement organique. C'est l'usage de la vie qui, de plus en plus, complique l'organisme et développe ses propriétés. Ce phénomène nouveau ainsi produit par l'accroissement, l'exagération des premières actions vitales, c'est l'absorption. Elle est la conséquence des mouvements organiques, en rapport avec leur activité, activité qui elle-même est subordonnée à l'état de l'orgasme et de l'irritabilité ; et ce dernier phénomène est à son tour déterminé par l'activité des mouvements qu'entraîne l'électricité, seconde force expansive agissant de concert avec le calorique. Ainsi tout se relie et se suit dans ces résultats successifs de l'organisation ; c'est une chaîne non interrompue de phénomènes se produisant les uns par les autres, et constituant par leur ensemble la vie dans sa manifestation complète et sa perfection.

Digitized by Google

L'absorption à son tour amène la nutrition qui formera le premier degré des fonctions destinées à l'accroissement. C'est donc à ce dernier terme, l'accroissement, que la vie conduit progressivement, par cette série de propriétés que nous avons exposées.

Mais de Lamarck ne s'arrête pas à ce terme ; il va maintenant établir les lois qui régissent tous les actes qui s'opèrent dans une organisation possédant la vie. Il vient de poser les règles auxquelles est subordonnée la formation des corps vivants. Mais, à son tour, la vie va opérer des actes par les forces qu'elle a en elle. Elle a été soumise à des lois pour s'établir, elle devient à son tour point de départ d'actes multiples qu'elle régit suivant des lois particulières. C'est cette deuxième partie des doctrines de Lamarck qu'il nous reste à étudier. Nous allons le suivre dans ces développements nouveaux, qui ont servi de base à sa classification zoologique.

Ces lois, relatives aux actes vitaux, sont très-remarquables, et expriment les idées les plus généralement connues de Lamarck.

La première loi a trait à l'accroissement. « La vie, dit-il, » par ses propres forces, tend continuellement à accroître le » volume de tout corps qui la possède, et à étendre les di- » mensions de ses parties jusqu'à un terme qu'elle amène » elle-même. »

Cette loi est démontrée par l'observation directe. De Lamarck, en montrant que l'accroissement matériel entraîne après lui un accroissement d'activité vitale, étend cette loi à la formation générale des êtres organisés, et partant de la petite masse cellulaire primitive, nous fait progressivement arriver jusqu'aux animaux et aux végétaux supérieurs.

La deuxième loi est relative à la formation des organes nouveaux.

« La production d'un nouvel organe résulte d'un nouveau » besoin survenu qui continue de se faire sentir, et d'un » nouveau mouvement que ce besoin fait naître et entretient. »

Il y a ici une distinction à établir. Si l'animal n'est pas sensible, si, par conséquent, il n'a pas de besoins spéciaux à satisfaire par la production d'organes spéciaux, le nouvel organe ne pourra être que le résultat d'un nouveau mouvement dû au seul accroissement; mais s'il est sensible, alors la loi trouve son application. Ainsi, le limaçon, qui rampe, a besoin de reconnaître les corps placés devant lui, et sur lesquels sa faible organisation pourrait se blesser. Il fait alors des efforts qui tendent à envoyer en avant quelques parties de sa tête pour explorer le terrain avant qu'il n'y passe ; en même temps un influx nerveux considérable se fait vers cette partie. Pour satisfaire à ce besoin nouveau, et sous l'influence des mouvements que ce besoin excite et entretient, le corps se prolongera et cette partie s'allongera en forme de cornes. Chez d'autres mollusques gastéropodes qui, comme la *Bullea aperta*, vivent enfouis dans le sable, les tentacules ne se développeront pas, car ils seraient inutiles.

Donc, c'est un besoin nouveau qui fait développer un organe nouveau. Mais cet organe est soumis, dans son développement particulier, à cette troisième loi de la vie : « Le dé- » veloppement des organes et leur force d'action sont » constamment en raison de l'emploi de ces organes. »

Cette loi s'appuie sur des faits nombreux. Faut-il rappeler ici le plus grand développement de la main droite et du côté droit, la grande puissance des muscles de l'épaule chez le farinier et le fort de la halle, des muscles de la jambe chez le danseur, de la main chez le forgeron? Ce sont là des observations de tous les jours, certaines et précises.

La contre-partie de cette loi est également vraie : par défaut d'emploi l'organe s'atrophie. Pour n'en citer qu'un exemple, on connaît l'atrophie d'un membre immobilisé pendant longtemps pour la consolidation d'une fracture.

Cette loi sert de point de départ à sa théorie de la transformation successive des êtres organisés. Si, en effet, les circonstances extérieures viennent à changer, si le milieu vient à présenter des conditions nouvelles d'existence à l'être vivant, avec ces circonstances extérieures varieront nécessairement les habitudes et les besoins. Et ces habitudes et ces besoins en changeant auront à leur tour une action directe sur l'organisme, celle de développer des organes nouveaux ou d'atrophier des parties désormais inutiles.

A l'appui de cette loi, de Lamarck cite des exemples nombreux, une foule de faits d'observation. C'est qu'en effet elle résume un des plus graves sujets de philosophie zoologique.

Il pose d'abord en principe, comme un axiome, que « les » organes ne donnent pas lieu aux habitudes, mais au con- » traire, que ce sont les manières de vivre qui ont constitué » les formes du corps, le nombre des organes, et les facultés » dont il jouit ».

C'est là un principe fort sujet à contestation. Citons néanmoins quelques-uns des faits que de Lamarck invoquait à l'appui de cette loi.

On a vu tantôt que l'action de la fonction sur l'organe était double ; qu'elle avait pour résultat l'atrophie ou l'augmentation, suivant qu'elle n'était plus nécessitée par les conditions extérieures, ou qu'elle était exagérée par l'usage et les besoins de l'être vivant. Il fallait donc apporter des faits à l'appui de cette double proposition.

En ce qui concerne l'atrophie des organes sous l'action des conditions extérieures ou par le non-exercice de la fonction, de Lamarck cite d'abord la taupe, qui parce qu'elle vit sous terre, loin de la lumière, ne présente que des yeux rudimentaires ou nuls. Il affirme même que si l'on mettait un bandeau sur l'œil d'un enfant, l'organe privé de son milieu d'exercice et d'action, diminuerait et deviendrait inapte à remplir sa fonction. Il va encore plus loin, et avance que si l'on continuait cette expérience sur plusieurs générations dérivant du premier individu, on arriverait à produire une race d'hommes ne présentant plus qu'un œil, et cet œil attiré par le besoin de considérer les objets de face et par la tendance de la nature à la symétrie des organes, avancerait peu à peu vers la ligne médiane ou l'axe du corps; cette modification ne reproduirait-elle pas l'aspect et la physionomie des cyclopes de la fable? On voit que de Lamarck ne s'arrête pas dans ses déductions et ne recule devant aucune conclusion, quand elle est amenée par les lois qu'il considère comme présidant à la formation et au développement des êtres organisés.

Un autre exemple d'atrophie serait offert par les serpents. L'habitude de passer par des espaces étroits, de ramper sur le sol, a eu pour conséquence d'allonger leur corps, et de faire complétement disparaître leurs membres.

Lamarck cite encore à l'appui de cette théorie le raccourcissement de l'intestin, observé par Ténon chez les ivrognes, raccourcissement qui serait la conséquence de leurs habitudes, qui les portent à introduire dans leur tube digestif une bien moins grande quantité d'aliments que les autres hommes,

Digitized by Google

Citons maintenant quelques exemples du développement des organes par l'action et l'usage.

En premier lieu, on trouve la formation de la patte de l'oiseau palmipède, du canard, par exemple (*Phil. zool.*, vol. I, p. 249). Cet oiseau, destiné à vivre sur l'eau, doit être disposé pour nager; dans le principe, il a étalé instinctivement ses doigts dans le but d'offrir une plus grande surface de résistance. Il en résulte un tiraillement de la peau entre les doigts, et ce tiraillement amène bientôt la formation de la membrane unissante qui constitue un des caractères distinctifs des palmipèdes.

L'oiseau de rivage, le héron, se trouve, pour répondre à un besoin inverse, élevé sur de grands pieds.

« On sent, dit Lamarck, que l'oiseau de rivage, qui ne se » plaît point à nager et qui cependant a besoin de s'approcher » du bord de l'eau pour y trouver la proie, est continuelle- » ment exposé à s'enfoncer dans la vase. Or, cet oiseau vou- » lant faire en sorte que son corps ne plonge point dans le » liquide, fait tous ses efforts pour étendre et allonger ses » pieds. Il en résulte que la longue habitude, que cet oiseau » et ceux de sa race contractent, fait que les individus de » cette race se trouvent élevés comme sur des échasses. » (*Phil. zool.*, vol. I, p. 250.)

Mais en même temps que ses pattes se sont élevées, son cou et son bec se sont allongés aussi, car il faut qu'il puisse pêcher sans se mouiller le corps, et ainsi s'est trouvé formé

Le héron au long bec emmanché d'un long cou.

L'oie et le cygne ont l'habitude de chercher leur nourriture au fond de l'eau : leur cou s'allonge, leurs pattes restant celles des palmipèdes, car ils sont oiseaux nageurs et ne craignent pas de se mouiller.

La loi de de Lamarck explique bien d'autres faits encore. Citons en quelques-uns chez les mammifères.

Chez le bœuf et le cerf les cornes se développent par l'habitude qu'ont ces animaux de donner des coups de tête pour se défendre, les pieds ne pouvant leur servir à cet usage. De ces mouvements répétés, de ce besoin nouveau se localisant sur le front de l'animal, résulte ces productions osseuses ou cornées.

La girafe doit se nourrir des feuilles des arbres, l'herbe manquant au désert; elle s'élève alors sur ses pieds et tend son cou pour atteindre les rameaux qui lui fournissent sa nourriture : de là sa forme, qui s'accorde admirablement avec la position qu'elle doit prendre.

Le lion et le chat qui enfoncent leurs griffes dans leur proie pour la déchirer, leur impriment par cela même une tendance qui les recourbe. Mais pareille disposition les gênant dans leur marche, l'animal retire instinctivement ses griffes, qui, cédant à cette tendance nouvelle, rentrent de façon à rendre la marche aussi facile que si elles n'existaient pas.

Citons enfin un dernier exemple. Les kanguroos ont à la partie inférieure de leurs parois abdominales une poche où ils logent leurs petits encore imparfaits. Pour les y enfermer, ils doivent se redresser et prendre un point d'appui solide sur leurs membres postérieurs. Aussi ceux-ci se développeront beaucoup et formeront avec la queue, devenue large et forte, un trépied à l'animal qui pourra, en quelque sorte, se tenir debout. En même temps les membres antérieurs servant moins dans la station de l'animal, deviendront petits et courts.

De Lamarck tire une conclusion de tous ces faits qui servent de point de départ à sa loi du développement des organes par l'usage et de leur atrophie par le non-exercice. « La nature, » dit-il, en produisant successivement toutes les espèces d'ani- » maux et commençant par les plus imparfaits ou les plus » simples pour terminer son ouvrage par les plus parfaits, a » compliqué graduellement leur organisation, et ces animaux » se répandant dans toutes les régions habitables du globe, » chaque espèce a reçu de l'influence des circonstances dans » lesquelles elle s'est rencontrée, les habitudes que nous lui » connaissons, et les modifications dans les parties que l'ob- » servation nous montre en elle. »

Ainsi, pour de Lamarck, les formes diverses revêtues par les animaux sont le résultat de changements dans les habitudes et le milieu; toute la création vivante pourrait ainsi être issue d'un seul type primitif qui se serait transformé au fur et à mesure qu'il lui serait venu des besoins nouveaux. Y a-t-il bien loin de cette théorie sur laquelle nous allons revenir dans un instant à la théorie actuelle de M. Darwin sur la mutabilité de l'espèce?

Enfin, une quatrième loi posée par de Lamarck se rapporte à la transmission des caractères par l'hérédité. « Tout ce qui » a été acquis, tracé ou changé dans l'organisation des indi- » vidus pendant le cours de leur vie, est conservé par la gé- » nération et transmis aux nouveaux individus qui pro- » viennent de ceux qui ont éprouvé ces changements. »

C'est une loi que l'expérience démontre chaque jour; les fils héritent du caractère d'organisation de leurs parents, comme ils héritent trop souvent aussi de leurs imperfections physiques et de leurs maladies. C'est d'ailleurs sur cette loi qu'est fondée la formation et la distinction des races.

De toutes ces lois, de Lamarck va tirer une conclusion des plus importantes, il en va déduire la grande théorie de la formation des animaux par des modifications lentes et successives imprimées par le milieu et les besoins nouveaux à leurs caractères. Remarquons encore ici combien de Lamarck est conséquent avec ses principes. Dès qu'il est engagé dans une voie, il marche en avant, aucune conséquence ne peut le faire reculer. En cherchant à définir la vie, il a été amené à l'étudier dans ses causes et son excitant, et à admettre pour les créations organiques le mode direct ou spontané de génération. Puis quand il croit connaître le comment et le pourquoi de la vie, il l'étudie dans ses manifestations; il en trouve et en formule les lois, et en déduit « que la nature, dans toutes ses opérations, ne pouvant pro- » céder que graduellement, n'a pu produire tous les animaux » à la fois : elle n'a d'abord formé que les plus simples, pour » passer de ceux-ci aux plus composés ».

Tel est l'exposé de la doctrine de la composition progressive. En s'élevant de la monade jusqu'au singe, il est impossible de ne pas voir partout les preuves d'une composition croissante des animaux, d'un perfectionnement graduel dans chaque organe; et avec cette composition de plus en plus complexe, on voit « la vie rester d'abord indépendante dans » chaque point des corps, et devenir ensuite dépendante d'un » organe à l'autre ».

Cette dernière remarque de de Lamarck est des plus importantes. Le professeur a beaucoup insisté l'an dernier sur un caractère distinctif des animaux supérieurs et des animaux inférieurs, qui se trouve formulé très-nettement par de Lamarck. Il semble en effet, que chez les invertébrés, la vie, également répartie dans chaque organe, y soit indépendante

Digitized by Google

de l'organe voisin. Chaque portion de leur organisme renferme en elle toutes les conditions nécessaires pour que l'état de choses particulier qui conduit au mouvement par l'action du stimulus puisse exister et rendre la vie manifeste, et cela indépendamment des parties voisines qui possèdent également la vie et pourraient la manifester librement sans la participation du reste de l'organisme. C'est ainsi qu'on peut couper un animal inférieur sans le faire périr; chaque partie devenue libre du tout primitif, n'en continuera pas moins à vivre, car elle a encore en elle les conditions et l'excitant nécessaires au mouvement vital.

Chez les animaux supérieurs au contraire, chez les vertébrés, la vie dans un organe est dépendante de la vie dans un organe voisin. Les organes sont unis pour concourir à un résultat unique, et si l'un d'eux fait défaut, le but ne peut plus être atteint et l'animal meurt. On ne peut enlever une partie du corps sans faire cesser les conditions propres à l'accomplissement des mouvements vitaux qui, pour exister, exigent le concours de l'ensemble des organes.

Ainsi, solidarité des mouvements vitaux dans les vertébrés, indépendance dans les animaux inférieurs, telle est la différence extrême et le caractère distinctif que de Lamarck avait compris et senti avec une admirable sagacité.

La composition croissante ou progressive démontrée par cette observation générale l'est encore par l'examen particulier des animaux. Aussi tous les zoologistes, sans exception, ont-ils mis en tête de la classification les mammifères qui apparaissent comme les plus parfaits, de même qu'ils ont placé les infusoires au dernier degré de l'échelle animale. C'est encore cette observation des caractères établissant la supériorité organique qui éloigne les cétacés des poissons, et ne permet pas de confondre les uns avec les autres.

En résumé, les forces de la nature ont créé un organisme élémentaire, la cellule, qui s'est modifiée suivant le milieu et les conditions; l'absorption a amené la nutrition, celle-ci a conduit à l'accroissement, et le corps vivant est devenu sensible. Des besoins nouveaux ont amené la formation d'organes nouveaux, l'usage les a développés, et ainsi ont apparu les animaux à formes multiples que nous observons aujourd'hui, successivement, et par les progrès lents de l'organisation.

De cette doctrine de la composition croissante à la négation absolue de l'espèce, il n'y a qu'un pas. De Lamarck n'hésite point, et conséquent avec les lois qu'il a posées et qui conduisent forcément à cette négation, il dit : « J'ai longtemps » pensé qu'il y avait des espèces constantes dans la nature, » et qu'elles étaient constituées par des individus qui appar- » tiennent à chacune d'elles. Maintenant je suis convaincu » que j'étais dans l'erreur à cet égard, et qu'il n'y a réelle- » ment dans la nature que des individus. »

Il est singulier de voir arriver à une pareille opinion un homme qui s'occupa tant des espèces et les connut si bien. Mais il mettait ses conceptions philosophiques au-dessus de toutes les observations, et faisait plier les faits devant les déductions nécessaires de son point de départ.

Pourquoi croyons-nous à l'espèce qui n'existe pas en réalité, quelle peut être la cause d'une pareille erreur? — Cette cause, de Lamarck la trouve dans « la longue durée, » par rapport à nous, du même état de choses dans chaque » lieu qu'habite chaque corps vivant. » Ce n'est que par la suite des temps que les habitudes, nées de besoins nouveaux, ont pu produire des changements dans les animaux. Nous ne pouvons voir qu'un moment très-court de la longue durée de ces transformations, et c'est pourquoi nous considérons comme définitifs les caractères que nous observons. Cependant, des changements continuels s'accomplissent en réalité dans les êtres et tendent chaque jour à modifier les espèces, mais non d'une façon sensible pour nous, à qui le temps ne permet pas de prendre des termes intermédiaires de comparaison.

On voit qu'il n'y a pas bien loin de cette doctrine que professait de Lamarck à celle que défend aujourd'hui M. Darwin.

Ainsi, dans les conceptions philosophiques de de Lamarck, tout se relie et s'enchaîne. La nature forme directement la monade; la vie, par les lois auxquelles elle est soumise, conduit à un accroissement, à une progression continue dans la composion des organes; elle amène forcément des modifications, des formes qui se succèdent et établissent une série d'individus et non des espèces fixes.

Toutes ces déductions sont logiques et forcées; en partant des théories de Lamarck sur la génération spontanée, on est nécessairement conduit à admettre la mutabilité de l'espèce. On voit qu'il n'est plus possible d'éviter les conclusions si on a passé sans les discuter sur les prémisses.

La question de l'espèce conduit tout naturellement aux classifications : il nous reste à étudier cette partie de l'œuvre de de Lamarck.

Quels seront les animaux qu'il placera en tête de sa classification? — « La nature, dit-il, n'opérant que graduellement, » et par cela même n'ayant pu produire les animaux que suc- » cessivement, a évidemment procédé, dans cette production, » du plus simple vers le plus composé. » Lamarck veut suivre cette marche de la nature, et inscrit en tête des animaux ceux que l'on considère comme les plus imparfaits et les plus élémentaires, la monade et l'infusoire.

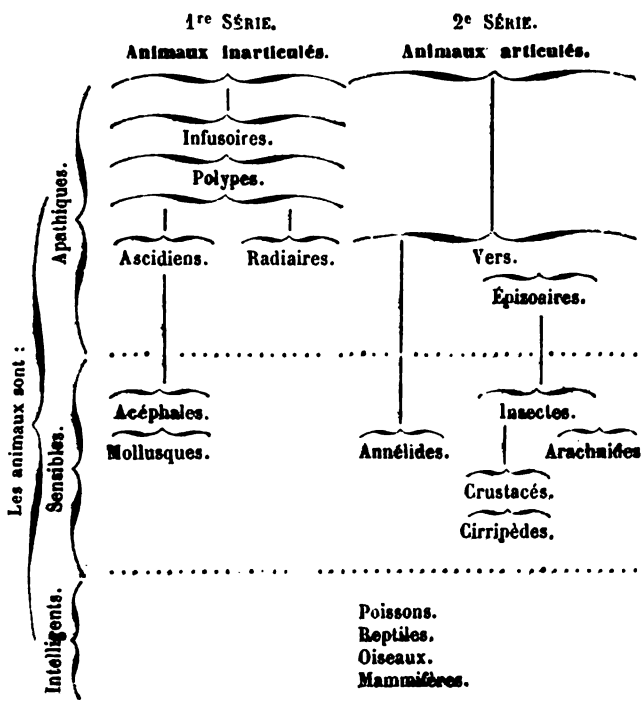
Mais une chose étonne beaucoup au premier abord dans ses idées sur la classification. Nous venons de voir que pour lui il n'y a que des individus, que les espèces n'existent pas; il nous présente les différents animaux que nous observons comme étant les produits de modifications continuelles et successives imprimées à l'organisation par le milieu et les besoins nouveaux. Si donc la nature suit une pareille marche de progrès et de modifications successives, il semble que l'on en doive forcément déduire l'idée de l'échelle ou de la série animale, en comprenant sous ce nom la succession des animaux passant de l'un à l'autre par des caractères différentiels peu sensibles, comme ils ont été formés par la transformation graduelle des types préexistants. Il n'en est rien pourtant. De Lamarck qui a posé la loi de la composition progressive nie la série animale. Il nie absolument le passage de tous les êtres vivants des uns aux autres. Il affirme que « les végé- » taux ne se nuancent avec les animaux par aucun point de » leur série », et ceci se comprend puisque dans sa théorie nous avons vu la cause excitatrice du mouvement vital produire, au début du travail organique, une division bien tranchée entre les deux règnes, et établir des différences absolues suivant la composition chimique de l'élément nouveau.

Il dit enfin : » Les animaux même ne se lient point les uns » aux autres de manière à former une série simple et réguliè- » rement graduée dans son étendue. — Aussi dans ce que j'ai » à établir, il n'est point du tout question d'une pareille » chaîne, car elle n'existe pas. » (*Anim. s. vert.*, vol. I, p. 111).

Digitized by Google

Ceci paraît étrange, et l'on est tenté d'adresser à de Lamarck le reproche de contradiction. Cependant, en étudiant sa classification on voit bien qu'il a été conséquent avec son point de départ. Si en effet les générations directes s'accomplissent d'une part pour les infusoires, de l'autre pour les Vers intestins, il est évident pour de Lamarck que ces deux classes d'animaux, pouvant naître ainsi spontanément, seront à leur tour l'origine et le point de départ de modifications diverses amenant la formation de types multiples qui, suivant leur origine, se rattacheront à l'un ou à l'autre des groupes formateurs. Ainsi le règne animal ne nous présentera pas une série continue et graduée, mais bien deux séries séparées dès leur origine, et résultant de deux productions spontanées différentes. C'est ce que le tableau suivant de de Lamarck met en évidence.

Ordre présumé de la formation des animaux offrant deux séries séparées subrameuses.



Le règne animal peut donc être divisé en deux séries *subrameuses*, suivant l'expression de de Lamarck, ces deux séries renfermant d'une part les animaux non articulés issus de la monade née spontanément, les animaux articulés d'autre part, résultant de modifications imprimées au type primitif, le Ver intestin formé directement. C'était une division qui devait découler forcément de cette création initiale par les forces de la nature de deux formes organiques différentes.

Remarquons aussi les trois grandes coupes qu'il fait de ces deux séries; il partage le règne animal en trois groupes comprenant les animaux *apathiques*, *sensibles* et *intelligents*. Ces trois désignations traduisent la progression croissante des organismes, le perfectionnement du système nerveux auquel semble réellement subordonné toutes les autres fonctions et par suite, d'après de Lamarck, tous les autres organes. En établissant ces trois coupes, il considère les facultés comme des phénomènes organiques, ayant la valeur de tous les autres caractères distinctifs.

Les animaux apathiques, qui sont comme le premier état de l'organisation, sont uniquement doués d'irritabilité. Chez eux, les contractions sont indépendantes d'organes particuliers, et n'ont besoin pour se produire, ni d'un élément excitateur, ni d'un élément contractile de forme déterminé.

Les animaux sensibles, peuvent être considérés comme constituant un degré intermédiaire dans le perfectionnement organique. Ici un organe spécial existe, qui leur fait connaître par des perceptions simples le monde extérieur, les objets qui les entourent. Mais ces perceptions réelles sont rapides, l'organisation ne permet pas à ces êtres de raisonner ce qu'ils perçoivent.

Enfin, des besoins nouveaux ont fait naître des organes plus parfaits; l'appareil nerveux s'est complété; un centre reçoit encore les perceptions du monde extérieur, mais il les apprécie, les discute ou les raisonne; des idées y peuvent naître, et il peut les conserver; il exécute des opérations multiples entre ces idées, opérations qui constituent l'intelligence. C'est un troisième état de l'organisation, plus parfait que les autres, car il les résume et les complète.

Le professeur fait remarquer que dans le développement de sa classification, de Lamarck admet en réalité six états de l'organisation se rapportant à des perfectionnements successifs. Mais il ne peut entrer ici dans ces détails, son but étant uniquement de suivre de Lamarck dans les idées générales qui l'ont conduit et guidé dans sa classification.

On ne retrouve pas dans ce tableau la division des animaux en vertébrés et invertébrés. De Lamarck le premier envisageant l'ensemble de l'organisme, a établi cette grande délimitation dans le règne animal, délimitation qui correspond du reste aux Ἔναιμα et Ἄναιμα d'Aristote qui avait pris pour caractère distinctif la présence ou l'absence du sang rouge. Cette division si naturelle, si vraie, a été clairement et nettement définie pour la première fois par de Lamarck. Il avait admirablement senti la différence fondamentale qui sépare les vertébrés des invertébrés; il avait parfaitement compris ce caractère *vertèbre*, qui semble tenir sous sa dépendance l'organisme tout entier. C'est là certainement une des découvertes les plus importantes de de Lamarck, découverte qui de tout temps sera rattachée à son nom, découverte de grande valeur, car aucune distinction nouvelle ne la pourra faire disparaître. Elle démontre que de Lamarck, lorsqu'il restait dans la nature sans s'élancer avec son esprit ardent dans les régions de la rêverie ou son imagination aimait tant à l'entraîner, était doué d'une merveilleuse aptitude pour la connaissance des rapports naturels des êtres, pour l'étude des caractères extérieurs et des espèces.

Apprécier ces théories multiples de de Lamarck en les résumant, est maintenant chose facile. Comme cela arrive presque toujours aux hommes supérieurs, d'un talent reconnu de tous, d'une imagination vive, de Lamarck a basé ses idées philosophiques générales sur des interprétations de faits fort sujettes à discussions, sur des hypothèses que rien ne peut démontrer. Son œuvre peut être envisagée à un double point de vue, dans son point de départ, et dans les détails de ses déductions.

Le point de départ est hypothétique; la génération spontanée sert de base à son système, et comme sa démonstration n'a pas encore été donnée, si nous la voulons nier, l'enchaînement philosophique de de Lamarck sera rompu par cela même. Bien plus, il la fait reposer sur des faits inexacts, ce

Digitized by Google

qui nous permet de la nier avec plus de raison encore. Aussi l'échafaudage ne reste-t-il pas très-solide, une fois les fondements sapés; le point de départ étant faux, les déductions n'ont plus aucune valeur, et ce grand ensemble de théories tombe devant la discussion et l'examen.

Mais, est-ce à dire que tout soit faux dans les idées générales de de Lamarck que nous avons exposées? Gardons-nous d'une pareille assertion. Chemin faisant, on rencontre les observations les plus justes, les déductions et les applications les plus importantes. Combien de choses ne lui a-t-on pas empruntées, en les déguisant pour qu'il n'y paraisse pas! Mais pour être revêtues d'un langage plus moderne, ses idées n'en sont pas moins siennes. N'a-t-il pas posé la question de la mutabilité de l'espèce, et ne l'a-t-il pas défendue avec les faits et les idées qu'invoquent ses partisans actuels?

Sur cette question de la mutabilité des animaux qui a conduit de Lamarck à la négation de l'espèce, M. Lacaze-Duthiers ne peut partager l'opinion de Cuvier qui dit dans son éloge historique de de Lamarck : « Ce résultat — il n'y a point » d'espèces dans la nature — dut sembler bien pénible à un » naturaliste dont presque toute la longue vie avait été consa- » crée à la détermination de ce que jusque-là il avait cru » être des espèces. » (*Él. de Lam.*, p. 20. 1835).

Ce jugement ne semble pas juste au professeur. Arriver à un pareil résultat ne put être pénible à de Lamarck, parce qu'il trouvait dans cette conclusion une démonstration de ses idées générales auxquelles il tenait plus qu'à ses travaux et à ses observations de détail. Du reste, après avoir étudié les espèces, il était arrivé à cette conviction qu'elles se fondent les unes dans les autres (*Phil. zool.*, vol. I, p. 59); il ne put donc lui être pénible de voir confirmer par ses déductions philosophiques ce que l'observation des objets lui avait déjà montré.

Cuvier a d'ailleurs commis une autre erreur, quand il dit que « ce résultat dut paraître bien pénible à un naturaliste... » dont, il faut le dire, le mérite le plus reconnu avait consisté » dans cette détermination des espèces. » Après l'exposé qui vient d'être fait des idées et des théories de de Lamarck, est-il encore possible de le considérer comme un chercheur de noms, un collectionneur vulgaire? — Il y a dans de Lamarck quelque chose de plus, il y a l'esprit élevé, à l'aise au milieu des plus grandes conceptions de l'intelligence, et c'est ce que Cuvier semble avoir un peu méconnu.

Pour apprécier cette sévérité de Cuvier, il ne faut pas oublier que de Lamarck et lui, en étudiant tous deux le groupe des *Vermes* de Linnæus, travaillaient en vue du même but et sur le même terrain. Et dans cette poursuite du même résultat, ils se servaient de moyens tous différents : Cuvier, esprit précis, clair, positif, voulait les faits seulement, et l'observation directe; de Lamarck, doué d'une nature rêveuse et enthousiaste à la fois, généralisait ou concluait à priori. Est-il dès lors étonnant qu'avec des aptitudes si différentes ils aient pu se rencontrer sans s'entendre?

Le professeur ne veut pas entrer dans l'étude détaillée de la classification de de Lamarck; mais il faut reconnaître que ces deux grands naturalistes abordèrent la classification des animaux inférieurs avec des moyens tout différents. L'un, armé du scalpel, s'appuyant sur l'anatomie, l'étude exacte de l'organisation, faisait son *Règne animal*; l'autre, guidé par l'observation des formes extérieures, publiait ses *Animaux sans vertèbres*. Et si de Lamarck est arrivé dans son œuvre à des résultats aussi remarquables que ceux qu'on y rencontre, avec cette imperfection dans les moyens de recherches, qu'en faut-il conclure, sinon qu'il était doué d'admirables aptitudes pour les sciences naturelles; s'il a tant fait avec si peu, nous ne pouvons que l'admirer davantage.

Le résultat de ses observations sur la forme extérieure des animaux fut l'établissement de *types* auxquels de Lamarck a mérité d'attacher son nom. Si les *genres* de Linnæus sont vrais et parfaitement observés, les *types* de de Lamarck ne dénotent pas un moindre esprit d'observation; ils resteront, pour la plupart, dans la science.

Cependant, si Cuvier dans son *Éloge historique* laisse passer parfois quelques critiques trop peu voilées, il n'en revient pas moins, en terminant, à rendre un hommage mérité à la mémoire du grand naturaliste qui occupa si glorieusement le premier la chaire des animaux sans vertèbres.

De Lamarck commençait un de ces discours par ces mots : « Observer la nature, étudier ses productions, saisir l'ordre et » les lois qu'elle fait régner partout, c'est à mon avis se pro- » curer les jouissances les plus douces et les plus propres à » nous dédommager des peines inévitables de la vie. » (*Phil. zool.*, t. I, p. 1.)

Il fut malheureusement privé de cette consolation quand, avec la vieillesse et des malheurs de famille, vinrent ces peines inévitables de la vie. Il devint aveugle. Grâce au dévouement sans bornes de mademoiselle de Lamarck, il travaillait encore; il dictait les sujets de ses longues et tristes méditations à sa fille qui ne le quitta plus un instant. Mais bientôt ce travail même lui devint impossible et sa vie se termina obscurément au Muséum, au milieu des splendeurs réunies de la nature qu'il aimait tant et qu'il ne pouvait plus contempler. Sur sa tombe, Geoffroy Saint-Hilaire prononça ces mots: « Quand arrivèrent les dernières et longues journées inu- » tiles à la science, quand il eut cessé d'être redoutable à la » rivalité, l'envie et les passions s'éteignirent et la justice » resta seule, et le monde savant a prononcé son jugement » en lui décernant le nom de Linné français. » — L. Halleg.

La Faculté de médecine de Paris a ouvert ses cours d'été le mercredi 4 avril 1866. Ils auront lieu dans l'ordre suivant :

COURS.	PROFESSEURS.	JOURS.	HEURES.
Histoire naturelle médic..	Baillon.	Lundi, mercredi, vendredi	A 11 h.
Physiologie.	Longet.	Lundi, mercredi, vendredi	A midi.
Accouchements, mal. des femmes et des enfants.	Pajot.	Lundi, mercredi, vendredi	A 1 h.
Thérap. et mat. médicale.	Trousseau.	Lundi, mercredi, vendredi	A 3 h.
Médecine légale.	Tardieu.	Lundi, mercredi, vendredi	A 4 h.
Pharmacologie.	Regnauld.	Mardi, jeudi, samedi. . . .	A 11 h.
Pathologie chirurgicale .	Gosselin.	Mardi, jeudi, samedi. . . .	A midi.
Anatomie pathologique. .	Cruveilhier, rempl. par M. Laboulbène	Mardi, jeudi, samedi	A 2 h.
Pathologie médicale. . .	Béhier..	Mardi, jeudi ,samedi. . . .	A 3 h.
Hygiène.	Bouchardat.	Mardi, jeudi, samedi. . . .	A 4 h.
Clinique médicale.	Bouillaud.	à la Charité.	Tous les jours, le matin, de 8 à 10 h.
	Natalis Guillot. . .		
	Grisolle.		
	Piorry.		
Clinique chirurgicale...	Jobert (de Lamballe), r. par M. Dolbeau.	à l'Hôtel-Dieu.	
	Laugier		
	Velpeau	à la Charité.	
	Nélaton		
Clinique d'accouchement	Depaul.	à l'hôp. de la Faculté.	

Le propriétaire-gérant : Germer Baillière.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE — NUMÉRO 20 — 14 AVRIL 1866

Paris, 13 avril 1866.

M. Duchartre a lu, lundi dernier, à l'Académie des sciences, un mémoire relatif à l'élongation des différents organes des végétaux pendant le jour et pendant la nuit. Les expériences faites jusqu'ici sur cette question, et d'ailleurs avec des plantes d'espèces différentes, avaient fourni des résultats contradictoires; les unes semblaient démontrer que les feuilles et les tiges s'allongeaient davantage pendant le jour que pendant la nuit, les autres conduisaient à un résultat inverse. M. Duchartre a repris ces travaux, et les diverses observations qu'il a faites sur quatre plantes d'espèces différentes, en mesurant quatre fois par vingt-quatre heures l'allongement des tiges et des feuilles, lui ont montré que cet allongement était plus rapide pendant le jour que pendant la nuit. M. Duchartre ne se dissimule pas que tous les principes de la physiologie végétale semblaient faire prévoir un résultat précisément inverse; mais les faits lui paraissent clairement établis. Il restreint du reste ses conclusions aux plantes sur lesquelles il a opéré, et ne croit pas que les choses se passent de même chez tous les végétaux phanérogames.

Parmi les autres communications, nous citerons seulement une note sur les navires de fer et une autre relative à l'acide trithionique. E. A.

SALLE DU CONSERVATOIRE DE MUSIQUE.

CONFÉRENCES DE LA SOCIÉTÉ DES AMIS DES SCIENCES.

M. DELAUNAY

(de l'Institut).

Sur le ralentissement du mouvement de rotation de la terre.

MADAME (1),

Mesdames, messieurs,

Je dois vous entretenir dans cette séance du ralentissement progressif du mouvement de rotation de la terre. C'est un sujet tant soit peu ardu. Je ne me dissimule pas toute la difficulté qu'il y a à le traiter d'une manière convenable. Aussi aurai-je besoin de toute votre indulgence. Je sais d'avance que cette indulgence ne me fera pas défaut. Je ferai d'ailleurs tout ce qui dépendra de moi pour la mériter.

Avant d'entrer dans la question même qui fait l'objet de cette conférence, il faut que je commence par bien établir les conditions dans lesquelles la terre se meut. Quand nous nous serons fait une idée nette de la nature du mouvement de la terre, nous verrons ensuite comment on est parvenu à reconnaître que ce mouvement se modifie peu à peu.

La terre, comme vous le savez, est un globe, une boule. Une observation très-simple le prouve. L'irrégularité de la surface des continents s'oppose à ce que, dans l'intérieur des terres, on puisse faire aisément cette observation; mais au bord de la mer, rien n'est plus facile, et le phénomène que je vais vous indiquer, et que tout le monde a pu constater, met la chose complétement hors de doute.

Quand on suit des yeux un bateau à vapeur qui quitte le port et gagne la pleine mer, il semble d'abord que ce bateau s'élève, qu'il gravisse pour ainsi dire une montagne. Bientôt il est comme posé sur l'horizon; puis, si l'on continue à le regarder, on le voit disparaître peu à peu par la partie inférieure. Le corps du bâtiment semble s'enfoncer dans les eaux; on ne voit plus que la cheminée avec le panache de fumée qui s'en détache; cette cheminée s'enfonce, à son tour, peu à peu; puis tout finit par disparaître. Les mêmes circonstances se présentent dans un ordre inverse lorsque le bateau vient de la pleine mer pour entrer au port (fig. 98). Or,

FIG. 98.—Rondeur de la surface de la mer, constatée par l'observation des diverses apparences d'un bateau à vapeur venant de la pleine mer vers le port (1).

cette observation pouvant se faire sur tous les rivages, dans toutes les parties de la terre, il faut nécessairement en conclure que la surface de la terre est arrondie.

Les mesures précises qu'on a exécutées ont conduit à reconnaître que la terre est une boule presque parfaite. On représente la terre au moyen de globes. En voici deux de dimensions différentes : chacun de ces globes nous fournit une image de la terre. Cependant la terre n'est pas exactement

(1) S. M. l'Impératrice assistait à la séance.

(1) Cette figure et quelques-unes des suivantes sont extraites du *Cours élémentaire d'astronomie et de mécanique* de M. Delaunay.

Digitized by Google

sphérique : elle est aplatie dans le sens de la ligne des pôles. (La terre tourne sur elle-même, et la ligne autour de laquelle elle tourne est ce qu'on appelle la ligne des pôles.) Eh bien, si l'on prend l'épaisseur de la terre d'un pôle à l'autre, on trouve que cette épaisseur est plus petite que son épaisseur prise dans la direction de l'équateur; mais si l'on voulait figurer cet aplatissement de la terre sur ce globe de 33 centimètres de diamètre, il ne serait pas saisissable à l'œil : la différence des deux épaisseurs serait seulement de 1 millimètre, et l'œil ne l'apercevrait pas.

A la surface de la terre, il y a des aspérités, ce que nous appelons des montagnes. Ces aspérités sont très-peu de chose relativement aux dimensions du globe terrestre. Si l'on voulait figurer sur ce même globe le mont Blanc, la plus haute de nos montagnes d'Europe, qui s'élève de 4800 mètres, près de 5 kilomètres, au-dessus du niveau des mers, il faudrait le représenter par une aspérité de 1 dixième de millimètre. Quelque soin qu'on ait mis à rendre la surface de ce globe parfaitement unie, en l'examinant d'un peu près, on s'aperçoit qu'il y existe quelques petites irrégularités; eh bien, ces irrégularités sont comparables, quant à l'épaisseur, à celle qui représenterait le mont Blanc. Ainsi, on peut regarder la terre comme étant une sphère presque parfaite.

Notre globe se meut dans l'espace : voyons dans quelles conditions. Pour nous en faire une idée, il suffit de penser à un boulet qui est lancé par un canon avec une grande vitesse; ce boulet se déplace rapidement et en même temps tourne sur lui-même. Eh bien, ce boulet, pris ainsi à l'état de mouvement et tournant sur lui-même pendant qu'il se meut dans l'espace, donne une idée très-nette de la nature du mouvement de la terre. Imaginez que sur la surface de ce boulet, pendant qu'il est en mouvement, il y ait une multitude d'êtres animés, incomparablement plus petits que des fourmis, et vous aurez une image fidèle de la terre avec les habitants dont elle est peuplée. Il est clair que si ces êtres animés existent sur le boulet au moment où il est mis en mouvement par l'explosion de la poudre, la production brusque de ce mouvement compromettra singulièrement leur existence; mais si ces êtres prennent naissance, se développent, meurent, pendant que le boulet est en mouvement, les conditions ne sont plus du tout les mêmes. Cependant il y a une différence à signaler entre ce boulet que je compare à la terre et la terre elle-même. Le boulet se meut dans l'air; la présence de l'air au milieu duquel il marche avec une très-grande rapidité gênerait singulièrement les petits êtres animés dont je parle, et qui seraient répandus sur sa surface. Mais il en est autrement de la terre qui se meut dans le vide, emportant avec elle la mince couche d'air qui l'enveloppe de toutes parts; il y a là des conditions bien plus favorables à l'existence et à la conservation des êtres animés qui peuplent sa surface.

Cherchons maintenant à aller plus loin.

Vous savez que tous les corps sont pesants. Si un corps est soutenu à une certaine hauteur au-dessus de la surface de la terre et qu'on l'abandonne à lui-même, il tombe. Le boulet qui est lancé par le canon est pesant aussi; sans cette circonstance, après qu'il a été lancé horizontalement, il devrait se mouvoir indéfiniment suivant cette direction horizontale; mais, de ce qu'il est pesant, il s'ensuit qu'il s'abaisse peu à peu au-dessous de la ligne suivant laquelle il a été lancé. S'il a été lancé avec une petite vitesse, il tombe à peu de distance; avec une vitesse plus grande, il va tomber plus loin; que la force de projection soit plus grande encore, il va tomber encore plus loin. Si la surface de la terre était plate et s'étendait indéfiniment comme les anciens le croyaient, il est clair que ce boulet (fig. 99), quelque grande que soit la vi-

Fig. 99.—Chemin parcouru par un boulet lancé horizontalement avec des vitesses différentes, la surface de la terre étant supposée plate.

tesse d'impulsion qu'on lui donnerait, finirait toujours par tomber sur cette surface. Mais la terre n'est pas plate : elle est ronde. Il en résulte que si l'on donnait à un boulet une vitesse initiale suffisamment grande, il pourrait ne pas tomber sur la terre.

Quand un boulet est lancé avec une petite vitesse, il décrit une ligne assez fortement courbée; plus la vitesse est grande, moins la ligne qu'il décrit est courbée; et avec une vitesse suffisamment grande, d'environ 8 kilomètres par seconde, il décrit une ligne qui n'est pas plus courbée que la surface de la terre (fig. 100). En suivant ce chemin courbé comme la

Fig. 100.—Chemin parcouru par un boulet lancé horizontalement avec des vitesses différentes, la surface de la terre étant supposée arrondie.

surface du globe terrestre, il ne se rapproche pas de cette surface; il cède à l'attraction de la terre, mais en en restant à la même distance. Ce boulet lancé à une vitesse de 30 kilomètres par seconde, tournera donc indéfiniment autour de la surface de la terre sans jamais la rencontrer. Ce sera un satellite de la terre. Sans doute, la présence de l'air qui recouvre la surface de la terre, en occasionnant une résistance au mouvement du boulet, viendrait bientôt altérer les conditions de ce mouvement; mais je ne parle ici que de ce qui arriverait si le boulet n'était gêné dans son mouvement par la rencontre d'aucun corps extérieur.

Tous les corps, avons-nous dit, sont pesants à la surface de notre globe. C'est un cas particulier de ce qu'on appelle la pesanteur universelle découverte par Newton. Tous les corps de la nature s'attirent, exercent les uns sur les autres une attraction, en vertu de laquelle ils tendent à se rapprocher de plus en plus; et ces forces attractives sont d'autant plus énergiques que la distance des corps qui s'attirent est plus petite. Eh bien, la terre, que je comparais tout à l'heure à un boulet, quant à la nature de son mouvement, se trouve, relativement au soleil, dans des conditions analogues à celles du boulet satellite dont je parlais en dernier lieu. La terre est attirée par le soleil; si elle n'avait une grande vitesse d'impulsion, elle tomberait sur cet astre; mais elle est animée d'une vitesse analogue à celle qu'il faudrait donner à un boulet lancé horizontalement pour que ce boulet restât toujours à la même distance de la surface de la terre.

La terre se meut donc autour du soleil comme un boulet

Digitized by Google

lancé avec une vitesse suffisamment grande ; elle fait autour de cet astre un tour entier dans l'espace d'une année. Et en même temps qu'elle se transporte ainsi autour du soleil, elle tourne sur elle-même; c'est ce que je disais déjà tout à l'heure. Elle est dans les mêmes conditions que ce boulet qui, lancé par le canon, tourne sur lui-même pendant qu'il chemine dans l'espace.

Voyons comment nous pourrons arriver à reconnaître l'existence de ce double mouvement. C'est par l'observation des objets extérieurs. Nous avons à notre disposition, depuis un certain nombre d'années, un mode de comparaison, qui est extrêmement utile pour nous faire bien comprendre les divers phénomènes célestes. C'est dans le mouvement des wagons sur les chemins de fer que nous trouvons les comparaisons les plus convenables pour nous faire une idée exacte des divers mouvements que nous observons dans le ciel. Tout le monde a remarqué que quand on est dans un wagon en mouvement, on croit voir marcher les objets extérieurs. Ainsi, on voit les arbres qui bordent la voie se mouvoir en sens contraire du sens dans lequel on marche soi-même. On sait que les arbres sont en repos, et l'on en conclut que c'est le wagon qui se déplace. Mais si les seuls objets qu'on puisse apercevoir ne sont pas nécessairement fixes sur la surface de la terre, on peut être induit en erreur; on ne sait plus distinguer si l'on est en mouvement soi-même, ou si ce sont les objets extérieurs qui se déplacent. Si, par exemple, on est dans un train arrêté dans une gare, et qu'à côté de ce train s'en soit arrêté un autre allant en sens contraire, l'un des deux trains vient-il à se mettre en mouvement, on ne sait pas si c'est le train voisin ou celui dans lequel on se trouve qui se déplace. Cette illusion est très-fréquente. Mais, quand on a des raisons de croire que les objets extérieurs sont immobiles, on en conclut qu'on est soi-même en mouvement.

Eh bien, imaginons un chemin de fer construit dans des conditions particulières pour arriver à reproduire quelque chose d'analogue à ce que nous voyons par suite du mouvement de la terre autour du soleil; concevons que dans une immense plaine on ait construit un chemin de fer circulaire, analogue au chemin de fer de ceinture de Paris; imaginons que du wagon circulant sur ce chemin de fer on puisse toujours apercevoir très-nettement tous les objets qui sont dans la campagne, et spécialement un monument, une tour par exemple, qui se trouverait sur cette plaine, vers le centre du cercle formé par la voie ferrée ; imaginons de plus que le wagon dans lequel nous sommes placés soit monté d'une manière particulière ; qu'il y ait au-dessus des roues du wagon une plate-forme ; que la caisse de ce wagon ne soit pas fixée à la plate-forme, mais montée sur un pivot de manière à pouvoir tourner sur elle-même pendant que le wagon chemine sur les rails.

Dans ces conditions, un voyageur qui aurait la tête à la portière verrait successivement, en vertu du mouvement de rotation de ce wagon sur lui-même, tous les objets à l'intérieur et à l'extérieur du cercle. De temps en temps, il apercevrait la tour placée au milieu du cercle; à d'autres moments, il ne l'apercevrait plus. Il commencera à apercevoir cette tour, je suppose, à sa gauche; puis, par suite du mouvement de rotation, il la verra devant lui, puis à droite, puis elle disparaîtra. Alors les objets situés à l'horizon, en dehors de la voie, se dérouleront sous son regard, puis la tour reparaîtra de nouveau à sa gauche, se placera encore une fois en face de lui, se retrouvera à sa droite, et ainsi de suite. Et en même temps le wagon se déplacera le long du chemin de fer circulaire, de telle façon que, quand le voyageur apercevra successivement cette tour centrale, il la verra correspondre à différents points de l'horizon. Eh bien, c'est exactement dans ces conditions que nous nous trouvons sur la terre relativement au soleil. Le soleil est placé au milieu de la route suivie par la terre, comme la tour au milieu de ce chemin de fer. Au mouvement de pivotement du wagon sur lui-même, en vertu duquel la tour est tantôt visible, tantôt invisible, reparaît et disparaît encore, correspond le mouvement de rotation de la terre sur elle-même, en vertu duquel nous voyons le soleil se lever à l'orient, se diriger vers le midi, puis disparaître à l'occident pour recommencer le lendemain, et ainsi de suite.

Mais pendant que la terre tourne ainsi sur elle-même, et que de la surface de la terre on voit le soleil se lever puis se coucher, pour se lever de nouveau et se coucher encore, le soleil paraît successivement se projeter en différents points de l'immense horizon qui l'environne de toutes parts. Seulement comme le soleil est éblouissant, il empêche de voir les étoiles dans son voisinage. Les étoiles, ce sont les objets placés à l'horizon dont je parle ; aussi n'est-ce que pendant la nuit que le voyageur reconnaît que la ligne qui s'étend de lui au soleil aboutit successivement aux différents points de cet horizon.

C'est donc par l'observation du mouvement des astres et parce qu'on voit le soleil se lever vers l'orient, s'élever du côté du midi et se coucher à l'occident, qu'on reconnaît le mouvement de rotation de la terre sur elle-même. Et c'est, comme je le disais tout à l'heure, parce qu'au moment où l'on aperçoit le soleil ou qu'on lui est opposé, on voit successivement les différents points de l'horizon représentés par les différentes étoiles, qu'on reconnaît que la terre se déplace autour du soleil et fait ainsi un tour dans l'espace d'une année.

La terre, dans ce mouvement annuel, est animée d'une très-grande vitesse. Nous avons dit qu'un boulet, lancé à la surface de la terre horizontalement, devrait avoir la vitesse de 8000 mètres par seconde pour ne pas venir toucher la surface de la terre et pour tourner autour de cette surface en restant toujours à la même distance. La terre doit également être lancée dans l'espace avec une très-grande vitesse pour circuler ainsi autour du soleil sans jamais tomber sur sa surface. La vitesse de la terre est d'environ 30 kilomètres par seconde.

Mais la terre, dans son mouvement, ne décrit pas régulièrement un cercle autour du soleil ; tantôt elle s'en approche, tantôt elle s'en éloigne. La terre parcourt ainsi une courbe un peu allongée, un peu ovale, à laquelle on donne le nom d'*ellipse*. Je vais vous montrer comment on trace cette courbe d'une manière très-simple, et par là vous aurez une idée nette de la configuration du chemin que la terre décrit autour du soleil dans l'espace d'une année.

Voici une petite corde, dont les deux extrémités ont été attachées à deux points fixes sur ce tableau. Je place un crayon à l'intérieur de la corde en la tendant, et je trace une courbe, comme vous voyez, en maintenant la corde toujours suffisamment tendue. Cette courbe est l'ovale de jardinier. En géométrie on lui donne le nom d'ellipse. La corde avait ses deux extrémités attachées en deux points particuliers F, F';

Digitized by Google

ces deux points sont les *foyers* de l'ellipse (fig. 101. En recommençant le même tracé, et prenant pour cela deux foyers moins éloignés l'un de l'autre, on obtient une ellipse d'une autre forme; elle est moins allongée (fig. 102). En regardant cette nouvelle ellipse, vous ne la distinguerez pas facilement d'un cercle; il semble que toutes les dimensions sont les mêmes, et cependant c'est encore une courbe aplatie. On pourrait rapprocher davantage les foyers, et la courbe différerait encore moins d'un cercle.

Fig. 101.

Cette courbe est celle que la terre décrit dans son mouvement autour du soleil. Le soleil n'est pas placé au centre de l'ellipse ; mais à l'un des foyers, c'est-à-dire à l'un des points où étaient attachés les extrémités de la corde. De telle manière que, quand la terre parcourt cette courbe dans l'espace d'une année, elle vient se rapprocher du soleil, quand elle arrive dans le voisinage du foyer où est situé cet astre ; puis elle s'en éloigne pour aller de l'autre côté ; puis elle s'en rapproche de nouveau, et ainsi de suite.

C'est vers le 1er janvier que la terre se trouve au point de son ellipse le plus rapproché du soleil et vers le 1er juillet qu'elle est au point le plus éloigné. Mais la différence de ces distances n'est pas bien grande.

La seconde courbe que j'ai tracée tout à l'heure a été obtenue à l'aide de deux foyers qui étaient encore assez éloignés l'un de l'autre. La courbe que décrit réellement la terre autour du soleil, pour être tracée de la même manière, exigerait que ces deux foyers fussent beaucoup plus rapprochés ; et cette courbe, à la simple vue, ne pourrait pas être distinguée d'une circonférence de cercle.

C'est donc dans ces conditions que la terre se meut et parcourt une ellipse, dont le soleil occupe un des foyers, placé presque au centre de l'ellipse, puisque les deux foyers sont très-rapprochés l'un de l'autre. Et en même temps la terre tourne sur elle-même, faisant 366 tours à peu près dans l'espace d'une année.

Mais la terre ne se meut pas seule dans ces conditions. Elle est accompagnée d'un autre corps, de la lune, qui est placée à une distance du globe terrestre beaucoup plus petite que la distance qui la sépare du soleil.

Voici deux globes : le plus gros (15 centimètres de diamètre)

Fig. 102.

représente la terre, et cette petite boule d'ivoire (4 centimètres de diamètre) représente la lune. Les proportions ont été conservées. Le volume de la lune est à peu près la 49e partie du volume de la terre.

La lune tourne autour de la terre comme la terre tourne autour du soleil ; mais en même temps la terre se déplace un peu en raison de la présence de la lune. En réalité ces deux corps tournent autour l'un de l'autre, et c'est l'ensemble qui marche annuellement autour du soleil. Ce mouvement de la lune et de la terre a beaucoup d'analogie avec le mouvement de deux personnes qui valsent dans un salon. Ces deux corps tournent autour l'un de l'autre, et en même temps l'ensemble marche autour du soleil en décrivant l'ellipse dont nous avons parlé tout à l'heure.

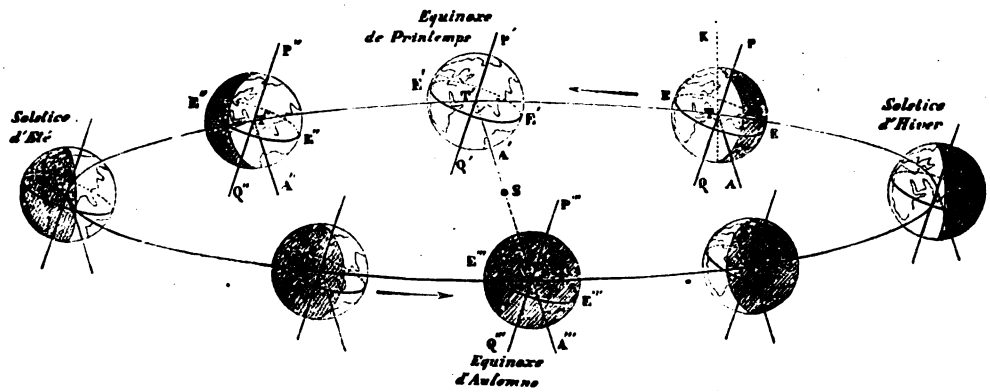


Fig. 103. — Positions diverses de la terre dans son mouvement annuel autour du soleil, S. — PQ, axe de rotation de la terre ou ligne des pôles. — EE, équateur de la terre.

Ce mouvement de la lune et de la terre présente une particularité qui est assez remarquable. La lune tourne continuellement sur elle-même pendant qu'elle chemine autour de la terre de manière à présenter toujours la même face vers la terre.

Si je fais marcher ainsi la lune autour de la terre sans la faire tourner en même temps sur elle-même, il est facile de voir que, de la surface de la terre, on apercevra successivement tous les points de la surface de la lune, on verra successivement la lune de différents côtés. Mais les choses ne se passent pas de cette manière. Pendant que la lune chemine

Digitized by Google

autour de la terre, elle se tourne sur elle-même de manière à ramener toujours la même face vers la terre. Vous savez, en effet, qu'on aperçoit sur la surface de la lune certaines taches grises qui, par leur ensemble, représentent grossièrement une figure humaine. Eh bien! ces taches grises sont toujours placées de la même manière par rapport au contour de la lune. Cela tient à ce que la lune se tourne sur elle-même pendant qu'elle chemine, de manière à présenter toujours la même face au globe terrestre.

Mais il n'en est pas de même de la terre. Elle tourne aussi sur elle-même pendant que le mouvement de la lune se produit, mais elle tourne plus rapidement, et pendant que la lune fait un tour autour de la terre, la terre fait plusieurs tours sur elle-même; ce qui fait que, pour les habitants de la terre, la lune paraît successivement se lever du côté de l'orient, puis se coucher du côté de l'occident. Si la terre tournait toujours la même face vers la lune, les habitants de la terre qui seraient placés sur cette face dirigée vers la lune verraient toujours la lune au-dessus de l'horizon; la lune ne se lèverait et ne se coucherait jamais pour eux.

Ainsi, il y a une différence essentielle entre la terre et la lune : la lune tourne autour de la terre en lui présentant toujours la même face, tandis que la terre tourne sur elle-même en présentant successivement les différentes parties de sa surface du côté de la lune.

Maintenant, voyons ce qui va arriver par suite des différentes positions de la lune autour de la terre, relativement au soleil.

Nous avons dit que la terre et la lune tournent ensemble en valsant, pour ainsi dire, autour du soleil. La lune se place ainsi successivement dans différentes directions par rapport au soleil. Or, la lune n'est pas un corps lumineux; nous ne l'apercevons que parce qu'elle est éclairée par le soleil. Mais le soleil ne peut pas éclairer en même temps toute la surface de la lune, il ne peut en éclairer qu'un côté; il y a donc une moitié de la lune qui n'est pas éclairée par le soleil. Nous pouvons nous figurer ce phénomène en recouvrant la moitié de cette boule d'ivoire d'un petit capuchon noir. Nous aurons ainsi d'un côté la partie éclairée, de l'autre celle qui est dans l'ombre.

Imaginons maintenant que ce gros globe, ici, à droite, représente le soleil; il faudra le supposer placé à une distance très-grande. Eh bien! la lune, en tournant autour de la terre, a toujours sa face éclairée dirigée vers le soleil, parce que la lumière vient de cet astre. Il résulte de là qu'à la surface de la terre les habitants ne voient pas toujours cette face éclairée de la même manière. Lorsque la lune, en tournant autour de la terre (fig. 104), vient se placer comme je l'indique ici (en E), sa face éclairée est tournée vers la terre, et de la surface de la terre on voit un cercle lumineux; alors la lune est dans son plein. Si la lune, au contraire, est dans cette autre position (en A), de la terre on ne peut voir que la partie non éclairée de la lune. La lune ne s'aperçoit pas, c'est la nouvelle lune.

Si la lune marche à partir de cette position, d'une certaine quantité par ici (dans le sens de la flèche), on commence de la terre à voir un peu de la partie éclairée; elle se présente sous la forme d'un croissant. Ce croissant va en augmentant d'épaisseur, et bientôt on arrive au premier quartier (en C). La lune continuant à marcher, on retrouve la pleine lune; puis, la lune marchant toujours dans la même direction, on ne voit plus qu'un quartier (en G); puis un croissant de plus en plus délié, et, enfin, la lune disparaît tout à fait. On se retrouve ainsi à la nouvelle lune.

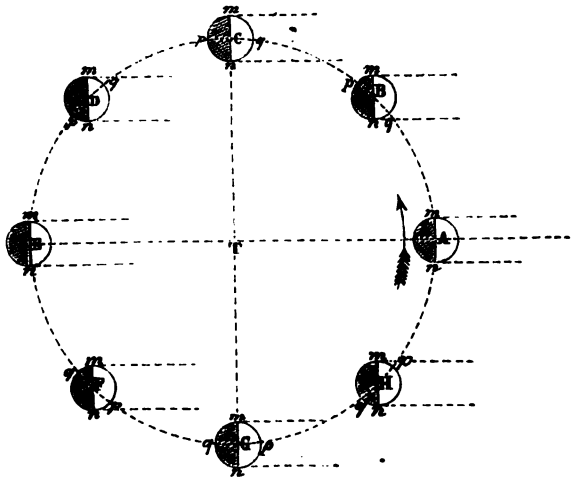


Fig. 104. — Phases de la lune : Nouvelle lune en A. — Premier quartier en C. — Pleine lune en E. — Dernier quartier en G.

La lune, en circulant ainsi autour de la terre, occasionne quelquefois des phénomènes très-remarquables, ce qu'on appelle des *éclipses*. Il est très-facile de s'en rendre compte.

Voici la lune qui marche autour de la terre, et qui est constamment éclairée par le soleil d'un côté. Mais en circulant ainsi, elle vient, à certains moments, se placer du côté de la terre qui est opposé au soleil; la terre peut se trouver alors exactement entre le soleil et la lune. La lumière du soleil ne peut donc arriver à la lune; elle se trouve cachée par la terre, il y a *éclipse de lune*. A d'autres moments, où la lune se place entre le soleil et la terre, il arrive que, pour certains habitants de la terre, le soleil est caché par l'interposition de la lune; il y a alors *éclipse de soleil*. Ainsi, on voit que toutes les fois que la lune se place entre le soleil et la terre, il y a éclipse de soleil pour certains points de la surface de la terre; et qu'il se produit une éclipse de lune toutes les fois que la terre vient se placer entre le soleil et la lune.

Mais la lune ne se meut pas dans les conditions convenables pour que ces deux phénomènes se produisent à chacune de ses révolutions autour de la terre. La lune passe tantôt au-dessus, tantôt au-dessous de la position où elle devrait être pour qu'il y ait éclipse de lune; de même aussi elle passe tantôt au-dessus, tantôt au-dessous de la position qu'elle devrait occuper pour qu'il y ait éclipse de soleil. Ces phénomènes sont assez rares, tandis qu'il y aurait tous les mois deux éclipses, une de chaque espèce, si la lune ne présentait pas dans son mouvement les complications dont nous venons de parler.

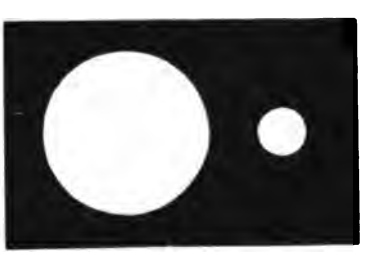


Fig. 105. — Grosseurs relatives de la terre et de la lune (le plus grand des deux cercles représente la terre, le plus petit la lune).

Cherchons, maintenant, à nous faire une idée des dimensions relatives de ces trois corps : le soleil, la lune et la terre.

J'ai déjà dit que ces deux globes (dont les diamètres sont l'un de 15 centimètres, l'autre de 4 centimètres) sont dans des proportions convenables pour repré-

Digitized by Google

senter l'un la terre, l'autre la lune (fig. 105). Quelles seraient les dimensions du globe qui représenterait le soleil dans les mêmes proportions? Ce globe devrait avoir une hauteur de près de 17 mètres, c'est-à-dire une épaisseur égale à la hauteur d'une maison à cinq étages, en donnant à chaque étage 3 mètres $\frac{1}{2}$ de hauteur à peu près (fig. 106).

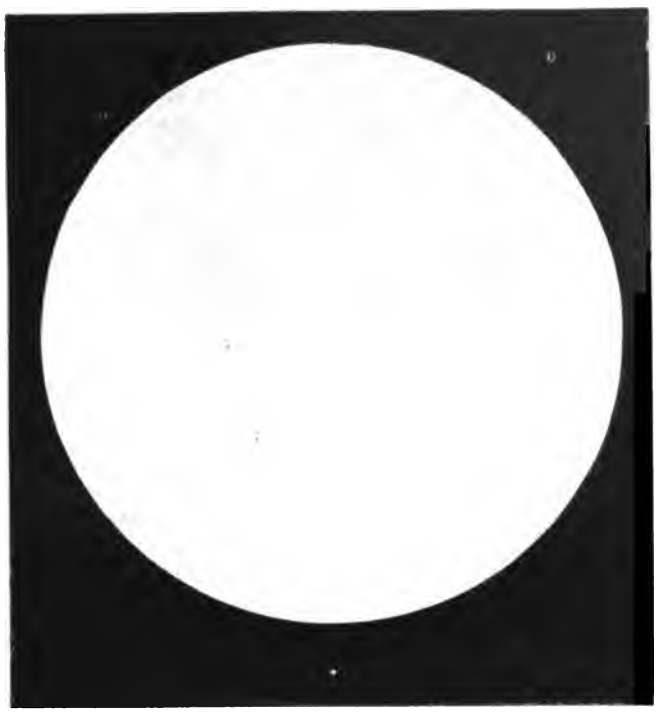


Fig. 106. — Grosseurs relatives du soleil et de la terre (le grand cercle blanc représente le soleil, le point blanc placé au-dessous représente la terre).

Le volume du soleil est égal à environ 1 300 000 fois le volume de la terre, et le volume de la terre à 49 fois environ le volume de la lune.

Voyons, maintenant, quelles sont les distances de ces astres.

En prenant toujours pour terme de comparaison ces deux globes, représentant la terre et la lune, voici, proportionnellement à leur grosseur, la distance à laquelle ils doivent être placés (4 mètres $\frac{1}{2}$). Maintenant, à quelle distance devra-t-on placer le globe qui représente le soleil? A la distance de 1800 mètres à peu près, c'est-à-dire à une distance comparable à la longueur de l'avenue des Champs-Élysées. Imaginez que ces deux globes occupent le commencement de l'avenue, place de la Concorde, le soleil devra se trouver à l'arc de Triomphe.

Il nous est extrêmement difficile de nous faire une idée un peu nette des dimensions des corps célestes et des distances qui les séparent. Nous venons de voir déjà, par les quelques indications que j'ai données, quels sont les rapports de grosseurs et de distances du soleil, de la lune et de la terre. Pour nous en faire une idée un peu plus nette, comparons les distances qui existent entre les corps aux distances que nous pouvons parcourir en chemin de fer avec les vitesses ordinaires. Prenons une vitesse de 44 kilomètres ou de onze lieues à l'heure. Eh bien! s'il y avait un chemin de fer pour aller d'ici à la lune, avec cette vitesse de onze lieues à l'heure, il nous faudrait un an pour atteindre à la lune.

Un chemin de fer étant établi dans les mêmes conditions pour aller au soleil, il nous faudrait quatre cents ans pour arriver à cet astre; mais nous ne sommes là pour ainsi dire encore que chez nous. Le soleil est le corps céleste le plus important pour nous; nous avons vu tout à l'heure comment nous cheminons annuellement autour de lui. Il y a en même temps un certain nombre d'autres corps, d'autres planètes qui, comme la terre, circulent autour du soleil, les uns plus près de lui que la terre, les autres plus éloignés. Tout cet ensemble, du soleil et des planètes, parmi lequel se trouve la terre avec la lune qui l'accompagne, tout cet ensemble constitue ce qu'on appelle le système solaire. Eh bien, ce système est pour ainsi dire perdu au milieu de l'espace, dans un vide immense. Les diverses étoiles que nous apercevons autour de nous en si grand nombre sont autant de soleils, dont le nôtre est loin d'être le plus grand; chacun de ces soleils est probablement environné de planètes. Cherchons à nous faire une idée de la distance à laquelle le système solaire, qui constitue pour ainsi dire notre demeure, se trouve des autres systèmes, des autres soleils. D'après les mesures qui ont été effectuées, on a reconnu que la distance de l'étoile la plus rapprochée est tellement grande, que si nous voulions y aller en chemin de fer, avec la vitesse dont nous parlions tout à l'heure, il ne nous faudrait pas moins de quatre-vingt-deux millions d'années.

Cherchons encore à mesurer cette distance énorme d'une autre manière, en nous servant d'une vitesse plus grande que celle du chemin de fer. Prenons la vitesse de la lumière. On sait, par des mesures précises, que la lumière met à peu près huit minutes un quart à nous venir du soleil. Eh bien, il faut plus de trois ans pour que la lumière nous vienne de l'étoile la plus rapprochée. Quand on pense qu'il y a un nombre considérable d'étoiles, que ces étoiles doivent être à des distances très-inégales de nous, les plus rapprochées à la distance énorme qui vient d'être indiquée, d'autres à des distances incomparablement plus grandes, l'imagination reste confondue. Chacun de nous occupe une place bien petite dans cette immensité; heureusement nous pouvons nous consoler en songeant que nous avons en nous quelque chose de grand, c'est la partie morale et intellectuelle de notre être.

Avant d'aborder la question du ralentissement du mouvement de la terre, j'ai encore une explication à donner sur un phénomène dont nous aurons à nous occuper tout à l'heure, et qui est produit d'une manière spéciale par la présence de la lune, je veux parler du phénomène des marées.

La lune, avons-nous dit, circule autour de la terre; elle fait un tour entier dans l'espace d'un mois à peu près. Mais comme je l'ai déjà indiqué, tout s'attire dans la nature, la terre attire la lune, la lune attire la terre. La lune attire à elle toutes les parties dont la terre est composée. Si la terre était entièrement solide, la lune, en attirant ses diverses parties, produirait exactement le même effet que si une seule force d'attraction était appliquée au corps tout entier. Mais la terre n'est pas entièrement solide, elle est recouverte d'une certaine quantité d'eau qui forme une couche de peu d'épaisseur, relativement aux dimensions de notre globe. Cette couche d'eau constitue les mers.

La lune attire l'eau de la mer. Elle attire la masse de la terre tout entière; mais son attraction ne s'exerce pas exactement dans les mêmes conditions sur la partie solide que sur la partie liquide. Les eaux de la mer, tournées du côté de la lune, se trouvant plus près de ce corps attirant que la masse du globe terrestre, sont soumises à une attraction plus forte;

Digitized by Google

les eaux placées du côté opposé, par une raison analogue, sont au contraire moins fortement attirées que la masse de la terre. Il en résulte que les eaux situées du côté de la lune sont portées vers elle par suite de cet excès d'attraction; et que du côté opposé de la terre, les eaux tendent à rester en arrière relativement à la masse du globe qui est plus fortement attirée qu'elles. Par suite de ces différences d'attraction, les eaux de la mer viennent s'accumuler et forment une proéminence du côté de la lune; elles s'accumulent en même temps du côté opposé.

Si la terre et la lune restaient toujours dans la même position, il est très-facile de voir que le fait que je viens d'indiquer se produirait une fois pour toutes, et qu'ensuite rien ne changerait plus. Pour le constater, il faudrait que l'on connût la forme qu'aurait la surface de la mer dans le cas où la lune n'existerait pas, pour la comparer avec celle que la présence de la lune lui fait prendre. On verrait ainsi que la surface de la mer a éprouvé une sorte de renflement du côté de la lune, et aussi du côté opposé; tandis que dans les parties latérales les eaux auraient baissé (fig. 107).

Fig. 107.— Déformation de la surface de la mer par suite de l'attraction de la lune.

Mais la terre tourne sur elle-même pendant qu'elle est en présence de la lune. Il en résulte que cette intumescence liquide due aux différences d'attraction que je viens d'indiquer, qui tend toujours à se produire du côté de la lune et du côté opposé à la lune, il en résulte, dis-je, que cette intumescence liquide doit avoir lieu successivement en différents points de la surface de la terre. Lorsqu'un point des côtes vient à se trouver du côté de la lune, la surface de la mer tend à y monter; ce point venant, par suite de la rotation de la terre, se placer latéralement par rapport à la lune, la mer tend à y baisser; lorsqu'il vient ensuite se placer du côté opposé à la lune, la mer tend de nouveau à y monter, pour baisser bientôt, et ainsi de suite. On voit donc qu'à mesure que la terre tourne, en un même point des côtes, en un même port, la surface de la mer tend à monter et à descendre alternativement, à monter et à descendre deux fois pendant que la terre fait un tour entier devant la lune. Or, c'est dans l'espace de près de vingt-cinq heures, ou plutôt de vingt-quatre heures trois quarts, que la terre fait un tour entier par rapport à la lune. C'est donc deux fois dans vingt-quatre heures trois quarts que la surface de la mer monte et descend pour remonter ensuite et descendre encore.

Ce phénomène des marées est bien connu. Quand on a été quelque temps sur les côtes, on sait que la surface de la mer monte progressivement pendant six heures ou à peu près, puis qu'elle descend, puis qu'elle monte de nouveau et ainsi de suite.

Le soleil agit d'une manière analogue pour soulever périodiquement les eaux de la mer; mais comme le soleil est beaucoup plus éloigné que la lune, la différence d'action sur les eaux tournées de son côté et sur la masse tout entière de la terre est beaucoup plus faible que quand il s'agit de la lune.

Il en résulte que l'oscillation de la surface de la mer due à l'action du soleil est faible relativement à l'oscillation due à l'action de la lune. Cette oscillation due à l'action du soleil n'en existe pas moins; elle n'est pas insensible. Tantôt elle tend à augmenter l'effet produit par l'action de la lune, tantôt elle tend à le diminuer. C'est ce qui fait qu'en un même port on a tantôt de grandes marées, tantôt de petites. C'est quand la lune se trouve dans la direction du soleil, au moment de la nouvelle lune, ou dans la direction opposée, au moment de la pleine lune, que ces deux tendances des eaux de la mer à se soulever par les actions du soleil et de la lune s'accordent entre elles, que les marées sont les plus fortes. C'est au contraire, au premier ou au dernier quartier, quand la lune est placée latéralement par rapport au soleil, que ces actions se contrarient, que l'action du soleil fait opposition à l'action de la lune, que l'on a des marées d'une faible intensité.

Mais ce phénomène des marées présente une particularité sur laquelle je dois appeler votre attention, parce qu'elle joue un grand rôle dans la question qui nous occupe spécialement aujourd'hui.

La terre tourne sur elle-même, avons-nous dit, et en même temps qu'elle tourne, à chaque instant la mer tend à se gonfler du côté de la lune et aussi du côté opposé. Mais puisque la terre tourne, il est clair qu'elle tend à entraîner avec elle le gonflement liquide qui se forme dans la direction de la lune. Il est entraîné en effet, disparaît peu à peu, à mesure qu'il s'éloigne de la direction de la lune; se reforme en même temps en d'autres points, pour être entraîné et disparaître de même, et ainsi de suite. Il résulte de là que ce gonflement liquide n'est jamais exactement situé dans la direction de la lune. Comme il est toujours entraîné par le mouvement de rotation de la terre, il n'existe en réalité qu'un peu plus loin, au delà de cette direction de la lune. Le frottement que les eaux éprouvent dans leurs oscillations, dans les bassins des mers, contribue à entretenir cette obliquité de position des protubérances liquides par rapport à la lune.

Il résulte de là que, si nous considérons un port entraîné par le mouvement de rotation de la terre, on voit ce port arriver d'abord dans la direction de la lune; puis il arrive quelque temps après dans une position convenable pour que la mer y soit haute. C'est-à-dire que la pleine mer a lieu quelque temps après le moment où la lune a été vue dans la direction du midi. Ainsi il y a constamment un retard de la pleine mer sur le passage de la lune dans la direction du midi. Ce retard est variable en différents points de la surface de la terre; mais si l'on prend les grands bassins des mers, on y reconnaît que ce retard du moment de la pleine mer sur le passage de la lune dans la direction du midi est d'à peu près trois heures.

Arrivons enfin à la question du ralentissement du mouvement de rotation de la terre. Voyons d'abord quelle est la grandeur de ce ralentissement. C'est extrêmement peu de chose. En vertu de ce ralentissement, la durée du jour va en augmentant de plus en plus, car c'est par suite de la rotation de la terre sur elle-même, que les jours se produisent successivement. Eh bien, le ralentissement est tellement petit que

Digitized by Google

la durée du jour n'augmenterait d'une seconde que dans l'espace de 100 000 ans.

Il y a dans un jour 86 400 secondes. Pour que le jour, par suite du ralentissement de la terre, augmente de la 86 400me partie de sa valeur, il faut qu'il s'écoule 100 000 ans. Donc, pour que la terre s'arrête tout à fait, en supposant que ce ralentissement continue à se produire dans les mêmes conditions, il faudra 8 640 000 000 d'années.

Ce ralentissement progressif du mouvement de rotation de la terre est par conséquent, en raison de sa petitesse, extrêmement délicat, extrêmement difficile à constater.

La première idée qui se présenterait à l'esprit pour constater un pareil ralentissement, ce serait de se servir d'une bonne horloge. Supposez une horloge parfaite, marquant exactement le temps; supposez que cette horloge ait été mise en mouvemet il y a 2000 ans, et que, continuant à se mouvoir avec une régularité absolue, elle puisse nous indiquer maintenant la durée de nos jours. Eh bien, nous verrions que la durée des jours actuels serait plus longue que la durée des jours tels qu'ils étaient il y a 2000 ans d'un cinquantième de seconde. Vous le voyez, ce n'est pas beaucoup. Mais pour cela, il faudrait avoir une horloge parfaite. Or, on sait combien il est difficile d'avoir une pareille horloge. Ainsi, quand on a à sa disposition plusieurs pendules dans un appartement et qu'on veut les faire marcher d'accord entre elles, on n'y parvient que bien difficilement, ou pour mieux dire on n'y parvient jamais; et cependant il ne s'agit que d'une durée de quelques jours. Eh bien, il faudrait avoir à sa disposition une horloge marchant régulièrement pendant un grand nombre de siècles, pour pouvoir constater à l'aide de cette horloge le ralentissement progressif du mouvement de rotation de la terre. On peut dire que cela est tout à fait impossible. C'est donc d'une autre manière qu'on a dû y parvenir.

C'est le mouvement de rotation de la terre qui sert à mesurer le temps. La terre, en tournant sur elle-même, donne lieu à la production des jours successifs. C'est à l'aide des jours que nous mesurons les grandes durées. L'accumulation d'un certain nombre de jours produit pour nous les années; l'accumulation d'un certain nombre d'années produit les siècles et ainsi de suite.

Les horloges ne sont employées par nous que comme un moyen de diviser les jours. Elle les divisent plus ou moins exactement en parties égales. C'est ainsi que nous avons d'abord les heures qui sont les vingt-quatrièmes parties du jour, puis les minutes qui sont les soixantièmes parties des heures, puis les secondes qui sont à leur tour les soixantièmes parties des minutes. Les horloges ne sont donc pas pour nous autre chose que des instruments destinés à fractionner le jour, et c'est le jour qui est notre véritable mesure du temps.

Comment pourrons-nous donc, en nous servant de ce moyen de mesurer le temps, reconnaître que le mouvement de la terre ne marche pas avec une régularité absolue? Il y a là évidemment une grande difficulté, et il a fallu la tourner pour arriver à la résoudre.

Pour vous faire bien comprendre par quelle suite d'idées on est parvenu à reconnaître l'existence d'un pareil ralentissement dans le mouvement de rotation de la terre, et d'un pareil allongement dans la durée du jour, je ferai une comparaison, que j'emprunterai encore aux chemins de fer.

Je suppose qu'une locomotive parcourt tout d'un trait le chemin de Strasbourg à Paris sans s'arrêter. On fait marcher cette locomotive avec toute la régularité possible. Un conducteur l'accompagne; il a avec lui une montre pour voir l'heure qu'il est, quand il passe dans tel ou tel endroit.

En consultant ce conducteur, ou plutôt le registre sur lequel il aura noté les heures de son passage en divers endroits, on trouve que la locomotive a passé à Épernay à midi, à Meaux à une heure trente-sept minutes. Il s'est donc écoulé une heure trente-sept minutes, ou 97 minutes, dans le trajet d'Épernay à Meaux. Or, la distance d'Épernay à Meaux est de 97 kilomètres. La locomotive parcourant 97 kilomètres en 97 minutes, a donc marché d'un kilomètre par minute. C'est là une conclusion bien facile à tirer.

A l'aide de cette donnée, sachant que la locomotive a parcouru 1 kilomètre en 1 minute, on peut se reporter en arrière et rechercher à quelle heure la locomotive a passé à Nancy. Il y a entre Épernay et Nancy 211 kilomètres. Il faut donc prendre 211 minutes avant midi pour avoir l'heure à laquelle la locomotive a passé à Nancy. On est ainsi reporté à huit heures vingt-neuf minutes du matin, d'après le calcul très-simple que je viens d'indiquer.

On consulte le conducteur et il dit : Non, ce n'est pas à huit heures vingt-neuf minutes que la locomotive a passé à Nancy, c'est à huit heures dix minutes; dix-neuf minutes plus tôt que vous ne croyez.

On s'est donc trompé; on a cru, en calculant d'après la marche de la locomotive entre Épernay et Meaux, qu'on obtiendrait exactement l'instant où la machine a passé à Nancy: son passage dans cette ville a eu lieu dix-neuf minutes avant l'instant indiqué par ce calcul. Que doit-on en conclure? C'est que la locomotive n'a pas toujours marché avec la vitesse qu'elle avait entre Épernay et Meaux, puisqu'elle a mis dix-neuf minutes de plus qu'il ne fallait pour parcourir la distance de Nancy à Épernay avec cette vitesse. Si elle a mis plus de temps depuis Nancy, que ne l'indiquait le calcul de sa vitesse entre Épernay et Meaux, c'est que dans le parcours son mouvement s'est accéléré. Reste à savoir pourquoi ce mouvement s'est accéléré. On examine la question; on est pendant quelque temps sans pouvoir expliquer cette accélération de mouvement. Vient un ingénieur qui, en se rendant compte des circonstances, reconnaît qu'il y a dans la disposition du chemin de fer une cause d'accélération. Le chemin n'est pas horizontal dans toute sa longueur; tantôt la voie monte, tantôt elle descend; tantôt la locomotive a une rampe à gravir et son mouvement s'en trouve un peu ralenti, tantôt elle a une pente à descendre et alors elle va un peu plus vite. Mais les descentes l'emportent sur les montées; il s'ensuit donc un excès des accélérations sur les ralentissements qui se produisent successivement, de sorte qu'en fin de compte, il en résulte une accélération dans son mouvement total. On parvient à expliquer par là comment le mouvement de la locomotive s'est accéléré depuis Nancy jusqu'à Épernay et Meaux. Mais quelque temps après un autre ingénieur, en regardant les choses d'un peu plus près, voit que la cause d'accélération indiquée ne peut pas rendre compte de toute la différence de dix-neuf minutes dont j'ai parlé tout à l'heure, mais seulement de la moitié de ces dix-neuf minutes; il y a donc une autre cause. On cherche, et après avoir tout bien considéré, on arrive à trouver cette autre cause. Un horloger vient examiner la montre du conducteur, et il voit que cette montre n'a pas marché régulièrement. Au lieu d'avoir mar-

Digitized by Google

qué successivement des minutes d'égale durée, elle a marqué des minutes de plus en plus longues. Tandis qu'elle n'avait indiqué que quatre-vingt-dix-sept minutes entre Épernay et Meaux, une montre qui aurait bien marché en aurait indiqué quatre-vingt-dix-huit ou quatre-vingt-dix-neuf. La locomotive paraissait avoir été d'Épernay à Meaux en quatre-vingt-dix-sept minutes, elle a été, en réalité, un temps plus long pour faire ce trajet : elle n'a pas marché aussi vite qu'on le croyait. Ainsi, il y a là deux causes en vertu desquelles cette différence de dix-neuf minutes s'est produite. D'une part, en raison des pentes diverses du chemin, le mouvement de la locomotive s'est accéléré peu à peu ; d'autre part, la montre du conducteur n'a pas marché régulièrement, elle n'a pas bien mesuré le temps.

Eh bien, c'est précisément dans ces conditions que se présente la question qui nous occupe aujourd'hui. La locomotive dont je parle, c'est la lune qui tourne autour de la terre ; le conducteur, c'est l'histoire qui enregistre les différentes observations de la lune faites à diverses époques ; et la montre du conducteur, c'est la terre tournant sur elle-même, et marquant successivement les jours à mesure qu'elle effectue ses révolutions les unes après les autres. La locomotive passe successivement devant divers poteaux kilométriques ; nous pouvons dire que la lune de même, en faisant sa révolution autour de la terre, passe à chaque tour dans la direction d'une étoile brillante, de Sirius par exemple. L'étoile Sirius, dans la direction de laquelle la lune passe à chaque tour qu'elle fait autour de la terre, est donc pour nous un poteau kilométrique. Les stations principales où la locomotive passe successivement, ce sont les phénomènes importants produits par le mouvement de la lune autour de la terre, les éclipses que nous avons vu se produire, tantôt lorsque la lune est entre le soleil et la terre, tantôt lorsque la lune est du côté opposé à la terre.

Mais pour pouvoir trouver dans les observations des diverses positions de la lune, quelque chose qui nous indique des circonstances analogues à celles que j'ai signalées dans la marche de notre locomotive, il faut que ces observations soient précises. Les observations modernes le sont bien, mais il n'en est pas de même des observations anciennes. Il faut que nous remontions jusqu'à 2000 ou 2500 ans. Or, à cette époque, elles se faisaient d'une manière très-grossière, on n'avait pas de lunettes, et à plus forte raison on ne connaissait pas l'usage de ces fils presque imperceptibles qui sont à l'intérieur des lunettes, et à l'aide desquels on détermine la position des astres avec une exactitude si grande. Il faut, par conséquent, suppléer à ces observations anciennes. Eh bien, nous avons heureusement pour cela un phénomène dont je vous ai déjà parlé, et qui est très-précieux, qui nous fournit des indications d'une précision presque aussi grande que si les anciens avaient eu à leur disposition les moyens d'observations que nous possédons aujourd'hui.

Nous avons dit que la lune tourne autour de la terre, et qu'en tournant ainsi elle vient quelquefois se placer entre le soleil et la terre. En se plaçant ainsi, elle produit une éclipse de soleil. Les points de la surface de la terre où le phénomène se produit ne voient plus le soleil, sont complétement dans l'ombre. Imaginez qu'au moment précis où la lune se trouve ainsi interposée entre le soleil et la terre, on ait, à l'aide d'un pinceau dirigé suivant la ligne qui vient du soleil en passant par la lune, rapidement dessiné une trace noire sur le globe terrestre ; comme la terre tourne pendant ce temps, il est clair que cette raie noire laissée par le pinceau, au moment où la lune se trouve exactement dans la direction du soleil, indiquera le moment précis où l'éclipse s'est produite ; car si l'éclipse s'était produite un peu plus tôt, la terre se serait trouvée dans une autre position ; si elle s'était produite un peu plus tard, sa position eût été différente encore. La terre tournant rapidement, il y aurait eu un déplacement considérable de ce trait noir sur sa surface, par suite de l'avance ou du retard dans la production du phénomène. En réalité, ce pinceau n'existe pas ; il n'y a pas de trace noire laissée sur la surface de la terre, comme je viens de le supposer : mais il y a production de quelque chose d'analogue.

Au moment où a lieu l'éclipse de soleil, la lune projette de l'ombre sur la terre. Cette ombre se déplace à la surface du globe terrestre. On s'en fait une idée très-nette en pensant à ce qu'on voit souvent dans la campagne, quand il y a un petit nuage en l'air. A une certaine distance on voit l'ombre de ce nuage se projeter à la surface de la terre, et à mesure que le nuage marche, l'ombre marche aussi sur le sol. Eh bien, quelque chose de pareil se produit au moment d'une éclipse de soleil. L'ombre de la lune se projette sur la surface de la terre, et s'y déplace rapidement, non en y dessinant un trait noir, mais en laissant une impression profonde dans l'esprit des spectateurs qui se sont trouvés enveloppés dans cette ombre. Cette impression profonde ne disparaît pas. Elle se trouve mentionnée dans l'histoire. On sait que dans telle ou telle circonstance, les habitants de tel ou tel lieu ont été effrayés par la production d'une éclipse de soleil, parce que la nuit a succédé brusquement au jour.

Eh bien ! c'est ce phénomène qui s'est produit rapidement dans une certaine région du globe, qui peut nous faire voir où était la terre dans son mouvement de rotation, au moment où il s'est effectué. Il est facile de se rendre compte du degré de précision de ce genre d'observations.

En une minute de temps, la terre, en tournant sur elle-même, marche, en un point de son équateur, de 28 kilomètres. En un point situé à une certaine distance de l'équateur, comme vers l'Asie Mineure, vers l'Espagne (c'est dans des positions analogues à celles que j'indique que les éclipses historiques ont été observées), il y a encore une marche de 22 kilomètres par minute. Si l'éclipse s'était produite une minute plus tôt, la trace laissée par l'ombre de la lune sur la surface de la terre se serait trouvée éloignée du lieu où elle s'est produite en réalité, de 22 kilomètres pour l'Asie Mineure, de 28 kilomètres pour un point de l'équateur. Cette trace se serait donc déplacée d'une quantité très-considérable sur la surface de la terre ; et quand nous savons par l'histoire que cette ombre, qui est très-peu large, a été aperçue dans tel point déterminé, cela nous indique la position exacte qu'occupait la terre en ce moment, et nous avons la mesure du temps exactement de la même manière que si nous pouvions consulter une horloge au moment précis de la production du phénomène. Eh bien ! à l'aide de ces observations modernes qui sont précises, de ces anciennes constatations d'éclipses qui équivalent à des observations précises, on a pu suivre la marche de la lune autour de la terre, comme nous avons suivi la marche de notre locomotive entre Nancy et Meaux.

C'est le célèbre astronome anglais Halley qui a reconnu, en 1695, que le mouvement de la lune autour de la terre avait dû s'accélérer, de même que nous avons dit, tout à l'heure, que le mouvement de la locomotive avait dû s'accélérer en-

Digitized by Google

tre Nancy, Épernay et Meaux. Cette accélération du mouvement de la lune est resté inexpliqué pendant près d'un siècle. C'est en 1786, que notre grand géomètre Laplace a trouvé la cause de cette accélération du mouvement de la lune. Nous avons dit que la terre, en tournant annuellement autour du soleil, tantôt s'en rapproche un peu, tantôt s'en éloigne un peu. Quand la terre se rapproche du soleil, cet astre attire davantage à lui la lune, il l'éloigne de nous, et alors le mouvement de la lune autour de la terre en est affecté ; la lune tourne moins rapidement autour de nous. Quand la terre s'éloigne du soleil, l'effet contraire se produit ; le soleil n'écartant pas autant la lune de la terre, la lune tourne plus vite autour de la terre. En sorte que, dans l'espace d'une année, le mouvement de la lune autour de la terre va, tantôt en se ralentissant lorsque la terre se rapproche du soleil, et tantôt en s'accélérant lorsque la terre s'en éloigne. Mais ce ralentissement et cette accélération successives ne se compensent pas ; il y a un excédant en faveur de l'accélération, de telle manière que le mouvement de la lune s'accélère de plus en plus, par suite de l'action du soleil sur elle.

L'accélération du mouvement de la lune, trouvée par Halley, avait donc été expliquée par Laplace ; mais plus tard, en 1853, M. Adams, actuellement directeur de l'observatoire de Cambridge, en Angleterre, a reconnu que l'explication de Laplace n'était pas suffisante et ne rendait compte que de la moitié du phénomène. Il fallait donc chercher à expliquer ce qui n'était pas expliqué par la cause de Laplace. C'est alors que, de même que dans l'exemple que j'ai pris, en examinant la montre du conducteur de la locomotive, on a reconnu que le mouvement de cette montre s'était ralenti de plus en plus, de même on a étudié les circonstances dans lesquelles se produit le mouvement de rotation de la terre, et l'on a reconnu que ce mouvement, qui sert à mesurer le temps, qui joue le même rôle que la montre, va en se ralentissant de plus en plus ; et c'est ce ralentissement qui permet d'expliquer ce que le cause trouvée par Laplace n'expliquait pas suffisamment.

J'ai donné, tout à l'heure, une idée de la grandeur de ce ralentissement du mouvement de rotation de la terre ; ce ralentissement est excessivement faible, et l'on peut se demander si, dans les observations anciennes d'éclipses, il y a quelque chose d'assez saillant pour qu'on puisse être bien certain de l'existence d'un ralentissement aussi petit.

Eh bien ! je vais vous fournir quelques indications qui feront bien comprendre comment ce ralentissement, bien qu'excessivement petit, a occasionné dans les temps anciens des circonstances très-frappantes, et qui n'ont pas pu échapper aux yeux des habitants de la terre.

Nous avons dit que la durée du jour augmenterait d'une seconde dans l'espace de cent mille ans. Mais cette augmentation se produit progressivement : un jour étant écoulé, le jour suivant est un peu plus long, le jour qui vient après est encore un peu plus long, de telle manière que, ces augmentations successives et extrêmement petites des jours s'ajoutant les unes aux autres, il arrive qu'au bout d'un grand nombre de jours cela finit par faire un total qui n'est pas inappréciable.

Si l'on remonte à une époque éloignée de nous de deux mille quatre cents ans, et c'est à peu près l'époque à laquelle se rapportent les éclipses historiques de soleil, dont j'ai parlé tout à l'heure ; si l'on remonte, dis-je, à deux mille quatre cents ans, on voit que l'observation d'une de ces éclipses a dû être faite une heure trois quarts plus tôt qu'elle n'aurait été faite, si ce ralentissement du mouvement de rotation de la terre n'avait pas existé, si la terre avait toujours tourné avec la vitesse que nous lui trouvons maintenant.

De même que j'ai dit, en prenant l'exemple de la locomotive, que cette machine au lieu de passer à huit heures vingt-neuf minutes à Nancy y a passé à huit heures dix minutes, et qu'une partie de la différence tient à ce que la marche de la montre du conducteur n'avait pas été régulière ; de même la différence de temps relative à l'observation des éclipses anciennes qui tient à ce ralentissement du mouvement de rotation de la terre, va jusqu'à une heure trois quarts ; l'éclipse a été observée une heure trois quarts plus tôt qu'elle ne l'aurait été, si le mouvement de la terre n'avait pas été en se ralentissant.

Prenons les trois éclipses principales mentionnées par l'histoire, et sur lesquelles sont basées ces considérations. L'éclipse de Thalès, en 585 avant Jésus-Christ, a été vue en Asie Mineure : si le ralentissement n'avait pas existé depuis, si la terre avait toujours tourné comme elle tourne maintenant, au lieu de voir cette éclipse dans l'Asie Mineure, on l'aurait vue dans l'île de Sardaigne. Par la même raison, l'éclipse de Larissa, en 557 avant Jésus-Christ, qui a été vue en Perse, aurait été vue dans la régence de Tripoli. Enfin l'éclipse d'Agathocle, qui a été vue, en 310 avant Jésus-Christ, près de Syracuse en Sicile, aurait été vue près de Cadix, au sud-ouest de l'Espagne.

Maintenant quelle est la cause de ce ralentissement ? Cette cause réside dans le phénomène des marées dont j'ai parlé tout à l'heure. J'ai dit que les eaux de la mer tendent à se porter vers la lune, et qu'il y a deux protubérances liquides, l'une du côté de la lune, et l'autre du côté opposé. Mais, comme la terre tourne et tend à entraîner ces protubérances liquides, il en résulte qu'elles ne se produisent pas exactement dans la direction de la lune, et qu'elles sont toujours à côté. En un mot, la pleine mer est en retard d'environ trois heures sur le passage de la lune dans la direction du midi.

Il y a donc une protubérance liquide d'un côté, qui est figurée ici en A (fig. 108), et une autre de l'autre côté, qui est figurée

Fig. 108.

en B ; et la ligne qui les joint est oblique par rapport à la lune. La terre tourne d'ailleurs dans le sens de la flèche. Mais la lune, L, tend constamment à ramener ces deux protubérances liquides dans leur position normale, à faire disparaître l'obliquité suivant laquelle elles se présentent par rapport à elle ; elle attire donc la protubérance A qui la fuit, et repousse au contraire la protubérance B qui marche vers elle. Il en résulte deux forces qui agissent de manière à contrarier constamment le mouvement de rotation de la terre, et à produire

Digitized by Google

ce ralentissement dont nous avons parlé tout à l'heure.

Maintenant combien faut-il d'eau à la surface de la terre, pour que l'action de la lune sur cette masse d'eau donne lieu à l'effet dont il s'agit et dont nous connaissons la grandeur? Voici ce qu'on trouve en en faisant le calcul approximatif. Imaginons que la masse d'eau proéminente qui doit exister sur la surface du globe terrestre, pour que l'action de la lune sur cette masse d'eau produise le ralentissement en question, imaginons, dis-je, que cette masse d'eau ait la forme d'une couche de 1 mètre d'épaisseur. Cette couche devra avoir une étendue qui est représentée exactement par le petit disque que vous voyez sur ce globe (fig. 109). Il faudra donc la pro-

Fig. 109.

fondeur de 1 mètre d'eau dans toute cette étendue, tant d'un côté du globe que du côté opposé, pour que l'action de la lune sur ces deux protubérances liquides soit capable de produire ce ralentissement qui est rendu sensible par les observations d'éclipses. Or, si l'on compare une pareille masse d'eau, ayant la forme d'une couche de 1 mètre d'épaisseur et n'occupant pas plus de place que cela sur le globe terrestre, avec les protubérances liquides qui se produisent en réalité dans les marées, on verra que la masse d'eau indiquée par le calcul pour déterminer ce ralentissement n'est pas très-grande, et que l'on doit voir dans le phénomène des marées une cause suffisante pour le produire.

Je n'ai plus que quelques mots à ajouter. On peut se demander si le mouvement de la terre, en se ralentissant ainsi peu à peu, finira par s'arrêter tout à fait. D'abord, pour cela, il faudrait un temps excessivement long; mais cela n'ira pas jusque-là. C'est, avons-nous dit, la lune qui, par son influence sur les eaux de la mer, tend à produire ce ralentissement. En même temps que la lune tourne autour de la terre, la terre tourne sur elle-même avec une plus grande vitesse. Mais si la terre ne tournait pas plus vite que la lune, ce serait toujours la même face de la terre qui serait tournée vers la lune; et la protubérance liquide située du côté de la lune ne serait plus entraînée latéralement par la rotation de la terre. La lune ne tendrait donc plus à ralentir le mouvement de rotation de la terre. On voit par là que ce qui devrait arriver à la longue, ce ne serait pas un arrêt complet de la terre, mais une concordance de son mouvement de rotation sur elle-même avec le mouvement de révolution de la lune autour de la terre. En définitive, la terre finirait par tourner constamment la même face vers la lune, comme la lune le fait par rapport à la terre. Il est naturel de penser que c'est la même cause qui a produit cette singularité que présente le mouvement de la lune. Si la lune tourne toujours la même face vers la terre, cela doit tenir à une action analogue à celle dont nous nous occupons maintenant.

Mais les choses n'iront pas probablement jusqu'au point que nous venons d'indiquer. A mesure que le temps s'écoule, et il faut un grand nombre de siècles pour réaliser les circonstances dont nous venons de parler, la température de la terre va en diminuant. Les eaux de la mer finiront par se congeler, et, du moment que la mer sera convertie en glace, le phénomène des marées n'existera plus; la cause du ralentissement du mouvement de rotation disparaîtra, et la terre continuera alors à tourner avec une vitesse constante.

Nous ne connaissons pas exactement la valeur du ralentissement du mouvement de la terre; nous ne la connaissons qu'à peu près, par les indications des anciennes éclipses dont j'ai parlé. La détermination exacte de cette valeur sera l'œuvre du temps. Nous ne faisons pour le moment que constater son existence. C'est cette existence que j'ai voulu mettre en évidence; je serai très-heureux si j'ai pu me faire comprendre d'une assemblée qui m'a écouté avec une si bienveillante attention.

Ch. Delaunay.

ENSEIGNEMENT LIBRE.

PHYSIOLOGIE MÉDICALE

COURS DE M. MAREY (1).

Du mouvement dans les fonctions de la vie.

III.

DU RÔLE DE L'ÉLECTRICITÉ DANS LES PHÉNOMÈNES NERVEUX ET MUSCULAIRES.

Messieurs,

Parmi les nombreux agents que le physiologiste applique aux nerfs et aux muscles pour provoquer des secousses ou des contractions, l'électricité est le plus important à connaître. Les expériences remarquables de du Bois-Reymond tendent à faire considérer le fluide électrique comme constituant essentiellement ce qu'on appelait autrefois le *fluide nerveux*. D'autre part, la contraction musculaire elle-même est si constamment accompagnée de phénomènes électriques, que chaque progrès nouveau de la physiologie musculaire relie plus intimement le phénomène de la contraction à une influence de l'électricité.

État électrique normal des nerfs et des muscles. — Je serai bref sur ce point, qui se trouve exposé aujourd'hui dans nos traités classiques, et qui peut se résumer ainsi. D'après du Bois-Reymond, il existe dans un nerf ou dans un muscle à l'état de repos, une sorte de polarité électrique entre les molécules qui s'influencent entre elles, comme le font les divers éléments d'une pile isolée. Les électricités de noms contraires ne peuvent facilement se combiner à cause de la faible conductibilité des tissus nerveux et musculaires qui sont, en grande partie, formés de liquides, et par conséquent très-ré-

(1) Voyez les numéros 10 et 12.

Digitized by Google

sistants au passage de l'électricité. Mais si un arc métallique, bon conducteur du fluide électrique, vient à réunir deux points d'un nerf ou d'un muscle qui soient de polarité différente, un courant traverse cet arc. De sorte que si l'on met les deux fils d'un galvanomètre en rapport avec ces points du nerf ou du muscle, un courant électrique est accusé par la déviation de l'aiguille qui indique à la fois la direction et l'intensité de ce courant.

A l'aide d'un galvanomètre très-sensible, du Bois-Reymond a démontré comment se répartit la polarité musculaire dont je viens de parler, et par conséquent dans quel sens et avec quelle intensité des courants tendent à s'établir entre les divers points d'un nerf ou d'un muscle.

Comme les courants propres s'établissent dans les nerfs et dans les muscles d'une manière identique, je rapproche les unes des autres les figures qui représentent la marche de ces courants dans ces deux sortes d'organes.

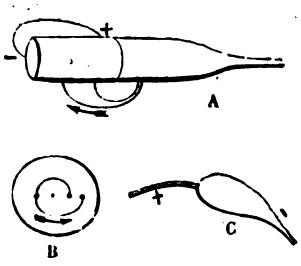


Fig. 110. — Courants propres des muscles.

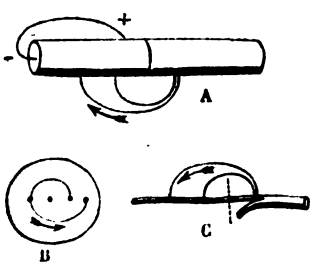


Fig. 111 — Courants propres des nerfs.

La coupe transversale d'un muscle est électrisée négativement par rapport à sa surface naturelle ou longitudinale. De sorte que si l'on place dans le circuit du galvanomètre deux points d'un muscle pris sur ces deux surfaces différentes, l'aiguille de l'instrument indiquera un courant allant de la surface longitudinale à la surface transversale, comme cela est représenté en A dans la figure 110.—Si l'on opère avec un nerf assez volumineux pour qu'on puisse toucher isolément un point de la surface extérieure et un point de la coupe, le même phénomène se produit et le sens du courant est le même que pour le muscle; un galvanomètre qui réunirait ces deux points accuserait (A, fig. 111) un courant en tout semblable à celui que fournit le muscle; seulement ce courant serait beaucoup plus faible. — (Le tendon d'un muscle se comporte comme sa coupe, de sorte qu'il doit être considéré comme représentant la somme des extrémités de chaque fibre musculaire, il équivaut donc à la coupe elle-même).

Une surface quelconque, longitudinale ou transversale, est le siége de polarités différentes dans ses différents points. Ce fait est également vrai pour les nerfs et pour les muscles. Voici comment cette polarité est répartie.

Sur la surface longitudinale, il existe une ligne neutre, ponctuée dans les figures, qui correspond à peu près au milieu de la longueur du nerf ou du muscle. Cette ligne laisse donc de chaque côté d'elle une quantité sensiblement égale de substance nerveuse ou musculaire. La polarisation des molécules présente de chaque côté de cette ligne des tensions électriques décroissantes à mesure qu'on s'en éloigne. De sorte que si deux points symétriquement placés de chaque côté de la ligne neutre sont réunis par le circuit du galvanomètre, aucun courant ne se produit. Si des points inégalement éloignés de la ligne neutre, et par conséquent insymétriques, viennent à être réunis, un courant se produit, il va du point le plus rapproché de la ligne neutre à celui qui en est le plus éloigné. Des flèches indiquent la direction de ces courants en A, fig. 110 et 111.

Sur la coupe d'un nerf ou d'un muscle, on trouve également des points symétriques et insymétriques, les premiers ne donnant pas de courant, tandis que les seconds en donnent. C'est l'axe qui passerait par le centre du cylindre nerveux ou musculaire qui représente ici le point neutre. Le sens des courants est le même que dans le cas où l'on expérimente sur la surface longitudinale.

Ainsi, en B, dans la figure 110 qui représente la coupe d'un muscle, on a indiqué un point central autour duquel la polarité serait répartie d'une manière décroissante dans les points de plus en plus rapprochés de la circonférence. Si deux points également éloignés du centre sont réunis par un arc métallique, aucun courant ne se produit, comme cela se voit pour l'arc convexe supérieurement qui, dans la figure 110, réunit deux points symétriques. Si, au contraire, l'arc métallique réunit deux points insymétriques comme celui qui dans la même figure a la convexité tournée en bas, un courant se produit. La direction de ce courant est celle qu'indique la flèche, c'est-à-dire qu'il va du point le plus rapproché de l'axe au point le plus éloigné.

La coupe d'un nerf présente les mêmes phénomènes, la figure 111 B, entièrement semblable à celle des courants de la coupe des muscles, montre comment la tension se répartit sur la coupe des nerfs.

Lorsqu'un tronçon du nerf présente un changement de volume dans son trajet, ce n'est plus au milieu de la longueur du nerf qu'il faut chercher la ligne neutre, mais c'est à un point qui correspondrait sensiblement à son centre de gravité et laisserait au-dessus et au-dessous de lui une quantité égale de substance nerveuse. C'est à partir de cette ligne qu'il faut chercher les points symétriques et insymétriques ainsi que cela se voit en C dans la figure 111.

Quand un nerf pénètre dans un muscle, il rampe entre les fibres de celui-ci, et se trouvant en contact avec leurs surfaces longitudinales, il participe à leur électricité, et devient positif par rapport à la coupe du muscle ou à son tendon. Ainsi, en C, figure 110, le nerf et le tendon représentent deux pôles de noms contraires comme ceux d'une pile. On peut se servir ainsi du nerf et du tendon d'un muscle, pour provoquer dans le nerf d'une autre patte de grenouille un courant dont le sens est toujours le même, c'est-à-dire qu'il va du nerf au tendon.

Puisque un muscle possède en lui-même deux polarités opposées comme un élément d'une pile, ne peut on, en réunissant entre eux différents muscles et les faisant se toucher par des surfaces électrisées différemment, produire une sorte de pile à élément multiple et susceptible par conséquent d'acquérir une tension assez considérable? C'est ce qu'a fait Matteucci à qui l'on doit la découverte de la pile musculaire, représentée figure 112.

Fig. 112.

Chaque coupe d'un muscle, électrisée négativement ainsi qu'on l'a vu, est mise en rapport avec la surface longitudinale d'un autre muscle. Lorsque la pile musculaire est composée

Digitized by Google

d'un assez grand nombre d'éléments, elle peut produire des courants qui dévient très-fortement un galvanomètre même peu sensible.

Action de l'électricité appliquée aux nerfs et aux muscles. —Vous l'avez vu, messieurs, c'est pendant le repos des muscles et des nerfs que se produisent les courants nerveux dont je viens de parler. Une nouvelle question se présente ; quel est l'état électrique de ces mêmes organes quand ils entrent en action?

Du Bois-Reymond nous a appris encore ce qui se passe dans ces conditions. Quand un nerf est excité, son état électrique se modifie, et c'est précisément cette modification qui donne naissance à la contraction musculaire. Il se développe dans le nerf ce que du Bois-Reymond a appelé l'*état électro-tonique*, état qui, au moment où il se produit, donne naissance à une contraction, ou pour mieux dire, à une *secousse* musculaire. Cet état électro-tonique constitue un véritable courant électrique dont le galvanomètre peut encore indiquer l'intensité et la direction.

La figure 113 montre comment ce courant se produit sous

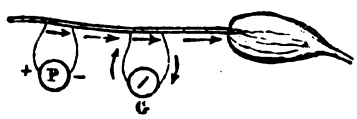


Fig. 113.

l'influence d'une excitation galvanique. Soit une pile P dont les deux pôles seraient appliqués au nerf d'un muscle de grenouille. Au moment où le courant est fermé et traverse la portion du nerf qui fait partie du circuit voltaïque, un courant du même sens se produit dans tout le reste du nerf, et ce courant donne naissance à une secousse du muscle. Dans ces conditions le courant qui se développe dans le nerf est de même sens que celui de la pile, il ne dure qu'un instant, après quoi le nerf conserve la nouvelle polarité que lui a donnée l'influence électrique qu'on a fait agir sur lui ; il la gardera jusqu'à la rupture du circuit voltaïque et reprendra alors sa polarité primitive.

Du Bois-Reymond a constaté que *tout changement dans l'état électrique d'un nerf produit l'excitation de celui-ci.* Sous l'influence du traumatisme et en général des différentes actions qui excitent les nerfs et font contracter les muscles, il y aurait donc une modification de l'état électrique des nerfs. Du reste, il n'est pas nécessaire de faire intervenir une électricité étrangère pour produire ces effets; vous avez vu que pendant son état de repos le nerf était le siége de polarités différentes. Eh bien, il suffit de recombiner les électricités contraires pour provoquer dans le nerf qui les possède une excitation. Ainsi, lorsqu'on touche avec un arc métallique deux points différents d'un nerf, l'état électrique se modifie non-seulement dans les parties touchées, mais consécutivement dans tout le reste du nerf, et une contraction s'ensuit. Ainsi s'expliquent encore les contractions qui surviennent quand un nerf est replié en anse sur lui-même, ou quand on laisse tomber sur lui une anse empruntée à un autre cordon nerveux. — Mais le fait le plus étonnant c'est la façon toute particulière dont le muscle se comporte quand il est excité. En effet, au moment où l'excitation développe dans le nerf un état électrique nouveau, le muscle, au contraire, en se contractant, perd sa polarité normale. De sorte qu'on voit se supprimer brusquement le courant qui pendant le repos allait d'un point à un autre de sa surface.

En résumé, l'excitation d'un nerf consiste dans la destruction de son état électrique statique ou de repos. Il se produit sous cette influence un état dynamique ou courant qui provoque une secousse dans le muscle correspondant. Cette secousse, pendant l'instant où elle se produit, supprime dans le muscle les polarités opposées qui, pendant l'état de repos, donnent naissance au courant musculaire.

DE LA CONTRACTION INDUITE.

Vous savez, messieurs, comment l'électrité d'un nerf se recompose si l'on place un arc conducteur entre deux points de la longueur de ce nerf et comment il s'ensuit un état électro-tonique qui excite le muscle et produit une secousse. Cet arc conducteur peut être formé par un corps quelconque, métallique ou organique. Un muscle ou un morceau de nerf peuvent être employés à cet usage. Après le contact effectué et après la secousse musculaire qui en résulte, un nouvel équilibre s'établit et persiste indéfiniment. Mais si dans l'arc conducteur il vient à se produire un phénomène électrique quelconque, celui-ci réagit à son tour sur l'électricité du nerf, en trouble l'équilibre et donne naissance à une secousse, c'est ce qu'on nomme la *contraction induite.* Ce phénomène a été découvert par Matteucci.

Contraction induite par un muscle. — Soient, figure 114,

Fig. 114.

deux muscles munis de leurs nerfs. Le nerf du second est placé sur la surface du premier muscle, qui forme ainsi un arc conducteur entre deux points différents de la longueur de ce nerf; d'où production d'un état électrique nouveau et secousse dans le second muscle. Après quoi, le nouvel état électrique se continuant sans changement, il n'y a pas de secousse, bien que le courant propre du premier muscle traverse constamment le second nerf. Il n'y a rien jusqu'ici qui ne vous soit connu. Mais supposons que le courant d'une pile vienne exciter le premier nerf et faire contracter son muscle; aussitôt le second muscle se contractera à son tour, c'est là ce qui constitue la *contraction induite.* Que s'est-il passé? — D'après Matteucci, le premier muscle, au moment de sa contraction, est devenu le siége d'un courant de sens contraire à la direction normale et a modifié, par conséquent, l'état électrique du nerf qui reposait sur lui, d'où contraction dans le second muscle. — Pour du Bois-Reymond, il y a eu simplement suppression de toute polarité électrique dans le premier muscle ; vous comprenez que c'est là une cause suffisante de perturbation dans l'équilibre électrique du deuxième nerf et que cela explique également bien la contraction induite.

Contraction induite par un nerf. — La figure 115 mon-

Fig. 115.

tre une anse nerveuse mise en rapport avec une autre,

Digitized by Google

de façon que chacune de ces anses joue par rapport à l'autre le rôle d'arc-conducteur. Une contraction se produit au moment du contact de ces nerfs, puis le repos des muscles se produit. Excitons maintenant à l'aide de la pile P le premier nerf. L'état électrotonique s'ensuivra dans le reste de son étendue, et le muscle correspondant se contractera; mais en même temps, comme la partie du premier nerf qui joue le rôle d'arc conducteur par rapport au second change subitement d'état électrique, le deuxième nerf sera influencé à son tour, et son muscle se contractera. Telle est la *contraction induite* par l'action d'un nerf sur un autre nerf.

Les deux nerfs peuvent être placés au contact l'un de l'autre comme dans la figure 116, l'induction se produit encore, et si

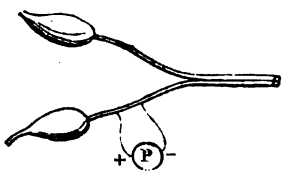


Fig. 116.

l'on excite par la pile la contraction de l'un des muscles, l'autre muscle se contracte également.

Contraction paradoxale. — Une grenouille est préparée comme dans la figure 117, son nerf sciatique est isolé, et les

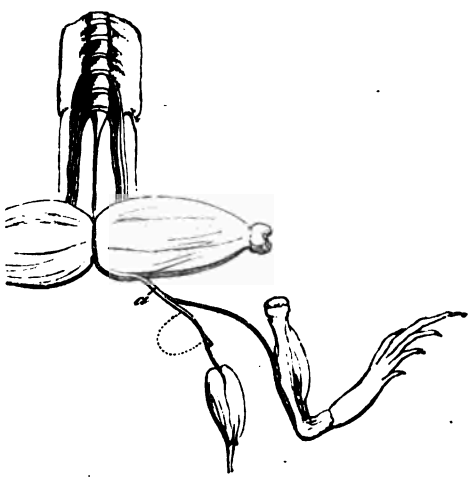


Fig. 117.

muscles gastrocnémiens détachés sont librement suspendus au nerf poplité interne qui les anime, tandis que le nerf poplité externe reste adhérent à la partie antérieure de la jambe. Si l'on coupe le nerf sciatique au point *a*, on voit que le bout périphérique de ce nerf renferme, adossées l'une à l'autre, les origines des deux sciatiques poplités. Cette disposition représentera assez parfaitement celle de la figure 117; aussi, lorsqu'on viendra à exciter le nerf poplité interne, obtiendra-t-on une double contraction : l'une directe dans le muscle gastrocnémien, l'autre induite dans les muscles antérieurs de la patte. C'est ce phénomène que du Bois-Reymond, en le découvrant, avait nommé contraction paradoxale. Elle était paradoxale en effet, cette contraction, tant qu'on ne connaissait que l'action directe des nerfs sur les muscles auxquels ils se distribuent. Mais, du Bois-Reymond lui-même, en découvrant la contractraction induite, donna la clef de la contraction paradoxale qui n'en est qu'un cas particulier. Il est nécessaire, pour que le phénomène se produise, que les communications du nerf avec les centres soit supprimées, ainsi que cela a été fait pour le cas représenté plus haut; le sciatique étant coupé au point *a*. On peut encore obtenir la contraction paradoxale en coupant le plexus lombaire du côté correspondant; mais dans ce cas le succès est moins certain.

INFLUENCE DE LA DIRECTION DES COURANTS SUR LEURS EFFETS PHYSIOLOGIQUES.

Sur ce point, messieurs, la science est beaucoup moins avancée que sur les précédents. Malgré les nombreux travaux entrepris sur ce sujet, malgré les persévérantes recherches de l'école allemande à qui la physiologie du système nerveux doit tant de grandes découvertes, nous ne possédons pas encore une théorie satisfaisante des variétés d'action des courants continus, suivant leur direction dans le nerf. Je me bornerai donc à esquisser devant vous l'état de la question avec les lacunes et même avec les contradictions qu'elle présente.

Courants agissant sur le trajet d'un nerf. — Vous avez déjà vu que les courants continus produisent des contractions à l'instant de leur clôture et à celui de leur rupture. C'est-à-dire dans leurs deux *états variables*, en vertu de cette loi que du Bois-Reymond a établie, à savoir : que les nerfs n'étaient excités que par un changement brusque de leur état électrique. Or, si le courant électrique est assez fort, les deux états variables dont je viens de parler pourront agir assez énergiquement sur le nerf pour produire une secousse du muscle ; mais, à un certain degré de faiblesse de la pile, ce n'est plus que l'état variable de la clôture qui agira sur le nerf, quelle que soit la direction du courant. Tels sont du moins les phénomènes que l'on observe lorsqu'on met un nerf à nu et que, sans le diviser, on l'excite avec les deux pôles d'une pile placée sur deux points de son trajet.

Courants agissant sur un nerf coupé. — Il n'en est plus ainsi lorsque l'on agit sur un nerf coupé en travers. Ce nerf séparé des centres s'altère peu à peu et ne réagit plus de la même manière sous l'influence des excitations électriques. Alors l'excitabilité du nerf passe par des phases sucessives dans lesquelles on voit se comporter différemment les courants centrifuges ou *directs*, et les courants centripètes ou *inverses*.

Prenons un courant voltaïque assez fort pour exciter un nerf fraîchement coupé et pour produire des secousses dans son muscle au moment de la clôture du circuit et au moment de sa rupture, c'est-à-dire dans les deux états variables. Ce sera une première période. Il en arrivera bientôt une seconde où l'on n'aura plus de secousse qu'à la clôture du courant direct et à l'ouverture du courant inverse. Enfin, dans une troisième période, le nerf demeurera insensible à la clôture comme à l'ouverture d'un courant quelconque. Nobili et Ritter qui ont étudié les changements successifs de l'excitabilité du nerf ont admis des périodes bien plus nombreuses; je ne vous cite que les plus importantes afin de ne pas compliquer le sujet. Les autres périodes signalées par les auteurs semblent du reste n'être que des transitions entre les trois états du nerf que je viens de décrire. Comme c'est sous forme de tableaux synoptiques qu'on a l'habitude de représenter les états successifs de l'excitabilité du nerf, j'emprunterai cette méthode, et pour

Digitized by Google

les trois périodes que je vous ai indiquées, nous aurons le tableau suivant :

		COURANT DIRECT.	COURANT INVERSE.
1re période.	Clôture.	Secousse.	Secousse.
	Ouverture.	Secousse.	Secousse.
2e période.	Clôture.	Secousse.	0
	Ouverture.	0	Secousse.
3e période.	Clôture.	0	0
	Ouverture.	0	0

De ces trois périodes la première s'explique facilement par l'excitabilité très-grande du nerf récemment coupé, excitabilité suffisante pour que les deux états variables du courant puissent la mettre en jeu. La dernière s'explique également bien par la disparition de l'excitabilité du nerf séparé du centre depuis un certain temps. Cette explication n'est pas hypothétique, car on peut se convaincre qu'à cette période le nerf cesse de réagir sous l'influence d'une excitation quelconque, même de celle que produisent la chaleur, le pincement et les agents chimiques. Reste à interpréter la seconde période, celle dans laquelle les phénomènes diffèrent suivant le sens du courant appliqué au nerf.

Un premier fait bien constaté, c'est la disparition successive de l'excitabilité dans les différents points du nerf. Cette propriété se perd d'abord dans le voisinage du bout coupé et s'éteint graduellement dans les points les plus rapprochés du muscle. De sorte que si l'on pince l'extrémité du nerf, on la trouve inerte, tandis que ce même nerf provoque encore des secousses musculaires lorsqu'on le pince dans un point plus voisin du muscle.

Sur ce premier fait bien établi, Chauveau essaya de fonder une théorie de l'action des courants de différents sens appliqués aux nerfs. Il supposa que le maximum d'excitation d'un courant se produit au pôle négatif, c'est-à-dire au point où l'électricité sort du nerf. Dès lors, il devenait facile de comprendre comment un courant faible n'agit que dans le cas où son pôle négatif est appliqué à un point du nerf encore excitable. Soit par exemple un courant induit direct, celui-ci, appliqué sur un nerf partiellement épuisé l'excitera encore, parce que le pôle négatif étant du côté du muscle agira précisément sur le point le point le plus excitable du nerf. Un courant inverse ne produira rien parce que ce pôle negatif agira près du bout coupé, c'est-à-dire dans un point du nerf qui n'est plus excitable. Une décharge d'électricité statique se comportera de même. Quant aux courants de pile, leur action ne peut s'expliquer dans cette théorie que d'une manière incomplète; il est vrai que, au moment de la clôture des circuits voltaïques, la théorie rend compte des faits, car le courant direct sort par le point excitable et provoque une secousse tandis que le courant inverse qui n'en produit pas sort précisément par le point du nerf qui a perdu ses propriétés. Mais au moment de la rupture de ces mêmes courants, la théorie de Chauveau devient insuffisante, car pour expliquer les effets qui se produisent et qui sont tout inverses de ceux qui accompagnent la clôture, l'auteur a été forcé d'admettre à la rupture d'un courant voltaïque l'existence d'une sorte d'*extra-courant* de sens contraire à celui de la pile. Or, l'existence d'un pareil extra-courant est non-seulement hypothétique mais encore contraire aux opinions qui règnent parmi les physiciens. Si j'ai exposé devant vous cette théorie, c'est qu'elle est facile à retenir et qu'elle permet de prévoir la façon dont se comportera un courant éléctrique agissant dans telle ou telle direction sur un nerf épuisé partiellement. Son insuffisance à expliquer les effets de la rupture des courants voltaïques fait rejeter cette théorie comme n'étant pas l'expression de la vérité, mais lui laisse sa valeur comme aide-mémoire.

Pflüger avait déjà cherché l'explication des mêmes phénomènes dans un changement que subirait l'excitabilité du nerf sous l'influence des courants électriques; pour ce physiologiste, l'*excitabilité* augmente dans le voisinage du pôle négatif et diminue du côté du pôle positif.

Phénomènes qui compliquent l'action des courants voltaïques sur les nerfs.— L'intensité variable des courants voltaïques modifie beaucoup leur action et complique encore les phénomènes que je vous exposais tout à l'heure. Ceux-ci représentent seulement les cas les plus fréquents de l'emploi de l'électricité appliquée aux nerfs. Pour établir un accord entre les physiologistes, il faudrait d'abord leur fournir une commune mesure d'intensité pour les courants qu'ils emploient, car une variation d'intensité même légère change entièrement les effets obtenus. Tel nerf, par exemple, qui pour un courant fort produit les effets signalés par la première période dans le tableau ci-dessus, donnera les effets de la seconde et même de la troisième période avec des courants suffisamment faibles.

Bien plus, des courants voltaïques d'une certaine intensité peuvent, lorsqu'on les applique à un nerf, donner naissance à une contraction permanente, c'est-à-dire, d'après notre définition précédente à une série de secousses musculaires assez fréquemment répétées pour produire l'état tétanique. Ce fait observé par du Bois-Reymond lui-même contredisait sa loi, puisque le nerf était excité, non-seulement pendant l'état variable du courant électrique, mais encore pendant son état permanent. Du Bois-Raymond supposa que des actions chimiques produites par le courant de la pile étaient la véritable cause de l'excitation du nerf à laquelle le courant lui-même n'aurait aucune part directe. Mais Pflüger a montré que ce ne sont pas les courants forts qui produisent le mieux cet effet tétanisant, et qu'un nerf dont le muscle n'éprouve de secousses qu'à la clôture et à l'ouverture d'un courant assez fort, fournira la contraction permanente avec un courant bien plus faible et dont l'action électrolytique sera par conséquent moins prononcée.

Ce n'est pas tout. Cette action chimique du courant s'accompagne d'une *polarisation* des molécules du nerf qui finit par offrir une résistance considérable aux courants qui le traversent. De là, diminution des effets d'excitation produits par des courants de même sens, ce qu'on attribua pendant longtemps à un épuisement, à une sorte de fatigue du nerf. Mais on reconnut que l'excitabilité reparaissait lorsque des courants de sens inverse à ceux qu'on avait employés d'abord était appliqués au nerf. Les derniers courants avaient détruit les effets de polarisation produits par les premiers. Cette polarisation du nerf est, du reste, directement démontrable par l'emploi du galvanomètre.

Digitized by Google

Enfin, la formation de *courants dérivés* est encore une des complications fréquentes de l'emploi des courants électriques en physiologie. Toutes les fois qu'un nerf simplement disséqué et soulevé au-dessus des parties molles, est excité par un courant électrique, indépendamment du courant principal qui traverse la portion du nerf comprise dans le circuit interpolaire, un courant dérivé se produit à travers les autres portions du nerf et les parties molles avec lesquelles elles communiquent. Or, ce courant est de sens inverse du courant principal, et sa présence peut, dans certains cas, changer entièrement les effets que l'on devait attendre de l'excitation électrique. C'est du moins ce qui résulte de remarquables expériences instituées par Martin Magron et Rousseau.

Je borne ici, messieurs, cet examen sommaire des effets que les courants électriques produisent sur les nerfs moteurs. Cet aperçu est bien insuffisant pour vous donner une idée des travaux entrepris sur ce sujet, mais il vous prouvera, comme je vous le disais en commençant, que la lumière ne s'est pas encore faite sur ce point de la physiologie nerveuse. La conclusion pratique qui en ressort, c'est que pour l'excitation des nerfs, il faut en général préférer les courants induits aux courants voltaïques dont l'effet est incomparablement plus complexe pour les raisons que vous venez de voir. Enfin, dans certains cas où l'on veut produire sur un nerf une excitation localisée d'une manière certaine, en un point défini, il faut renoncer entièrement à l'emploi de l'électricité et recourir à l'excitation traumatique, c'est-à-dire à la compression du nerf entre les mors d'une pince.

MAREY.

BULLETIN DES COURS.

Collége de France.

PROGRAMME DES COURS SCIENTIFIQUES DU SECOND SEMESTRE 1865-1866.

MÉCANIQUE CÉLESTE. — M. SERRET (de l'Institut) traitera des Méthodes d'analyse dont on fait usage dans les théories astronomiques, les mardis et vendredis, à dix heures et demie. — Ce cours commencera le mardi 17 avril.

MATHÉMATIQUES. — M. LIOUVILLE (de l'Institut) continuera de traiter de la Théorie des nombres, les lundis et samedis, à dix heures.

PHYSIQUE GÉNÉRALE ET MATHÉMATIQUE. — M. BERTRAND (de l'Institut) continuera de traiter de la Mécanique rationnelle, et particulièrement des travaux antérieurs à Lagrange, les mardis et samedis, à midi.

PHYSIQUE GÉNÉRALE ET EXPÉRIMENTALE. — M. REGNAULT (de l'Institut) traitera de quelques parties de la physique générale et de la Chaleur, les mercredis et vendredis, à dix heures. — Ce cours commencera le mercredi 18 avril.

CHIMIE. — M. BALARD (de l'Institut) traitera de l'Étude générale des sels, les mercredis et samedis, à midi et demi. — Ce cours commencera le samedi 21 avril.

CHIMIE ORGANIQUE. — M. BERTHELOT exposera la Classification générale des composés organiques et ses applications à l'Analyse immédiate, les mardis et vendredis, à une heure. — Ce cours commencera le mardi 17 avril.

MÉDECINE. — M. CLAUDE BERNARD (de l'Institut et de l'Académie de médecine) traitera de la Médecine expérimentale, les mercredis et vendredis, à midi et demi. — L'ouverture de ce cours sera annoncé par un avis particulier.

HISTOIRE NATURELLE DES CORPS INORGANIQUES. — M. ÉLIE DE BEAUMONT (de l'Institut), sénateur, professeur. — M. CH. SAINTE-CLAIRE DEVILLE (de l'Institut), conservateur de la collection géologique du Collége de France, suppléant, continuera de traiter des Roches, au double point de vue de la nature de leurs éléments et de leurs gisements principaux, les mardis et les vendredis, à deux heures. — Ce cours commencera le lundi 16 avril.

HISTOIRE NATURELLE DES CORPS ORGANISÉS. — M. FLOURENS (de l'Institut), professeur. — M. le docteur ARMAND MOREAU, lauréat de l'Académie des sciences, remplaçant, traitera de l'Histoire naturelle des animaux, les lundis et jeudis, à une heure. — Ce cours commencera le lundi 16 avril.

EMBRYOGÉNIE COMPARÉE. — M. COSTE (de l'Institut) traitera de l'ensemble des phénomènes que les animaux présentent dans leur développement, les mardis et samedis, à une heure. — Ce cours commencera le mardi 24 avril.

HISTOIRE DE LA MEDECINE. — M. DAREMBERG, chargé du cours, exposera l'Histoire générale de la médecine depuis l'établissement de l'École de Salerne jusqu'à la fin du XVIe siècle, les mardis et vendredis, à midi et demi. — Ce cours commencera le mardi 24 avril.

Muséum d'histoire naturelle.

MINÉRALOGIE. — M. DELAFOSSE (de l'Institut), professeur, a commencé ce cours, le mercredi 11 avril, à onze heures du matin, dans l'amphithéâtre de la galerie de géologie et de minéralogie, et le continue les lundis, mercredis et vendredis suivants, à la même heure. Après avoir exposé les propriétés principales des minéraux et les principes qui servent de base à leur classification, il traitera particulièrement des minéraux combustibles non métalliques.

GÉOLOGIE. — M. DAUBRÉE (de l'Institut), professeur, ouvrira ce cours le mercredi 18 avril, à trois heures et un quart, dans l'amphithéâtre de la galerie de géologie et de minéralogie, et le continuera les mercredis et vendredis suivants, à la même heure. Il étudiera le mode de formation des terrains stratifiés, surtout au point de vue de l'origine des substances qui les composent, et insistera particulièrement sur la part considérable qu'il convient de faire dans cette origine à l'activité interne du globe. Les premières leçons seront consacrées à l'examen de la constitution des météorites.

COURS DE CULTURE. — M. DECAISNE (de l'Institut), professeur, a commencé ce cours, le mardi 10 avril, à huit heures et demie, dans l'amphithéâtre de la galerie de géologie et de minéralogie et le continue les mardis, jeudis et samedis suivants, à la même heure. Il consacrera quelques leçons à l'exposé des principes élémentaires de la physiologie végétale appliquée à la culture, et traitera ensuite des plantes commerciales.

ANTHROPOLOGIE (Histoire naturelle et anatomie de l'homme). — M. DE QUATREFAGES (de l'Institut), professeur, a ouvert ce cours, le mardi 10 avril, à trois heures et un quart, dans l'amphithéâtre d'anatomie comparée, et le continue, les mardis, jeudis et samedis suivants, à la même heure. — Il fera cette année l'histoire des races noires et des races jaunes, et examinera successivement les caractères physiques, intellectuels, moraux et religieux de chaque groupe en indiquant leur répartition géographique.

ZOOLOGIE (annélides, mollusques et zoophytes). — M. LACAZE-DUTHIERS, professeur, a repris ce cours, interrompu par les vacances de Pâques, le lundi 6 avril, à deux heures, dans les galeries de zoologie. L'histoire naturelle des Helminthes (*tænia*, *trichine*, etc.), comprenant l'étude du développement, des métamorphoses, des migrations et des caractères des principales espèces de vers parasites de l'homme et des animaux, fera l'objet de la seconde partie de ce cours.

École supérieure de pharmacie de Paris.

PROGRAMME DES COURS DU SECOND SEMESTRE.

PHARMACIE. — M. LE CANU, les mardis, jeudis et samedis, à neuf heures et demie.

BOTANIQUE (taxonomie et botanique descriptive). — M. CHATIN, les mardis, jeudis, et samedis, à quatre heure et un quart.

CHIMIE ORGANIQUE. — M. BERTHELOT, les mardis, jeudis et samedis, à trois heures.

ZOOLOGIE. — M. ALPHONSE MILNE-EDWARDS, les lundis, mercredis et vendredis, à quatre heures.

TRAVAUX PRATIQUES. — MM. BUIGNET et BONIS, les lundis, mercredis et vendredis, à midi.

BOTANIQUE RURALE (herborisations). — M. CHATIN. La première herborisation aura lieu le dimanche 1er mai.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE — NUMÉRO 21 — 21 AVRIL 1866

SOIRÉES SCIENTIFIQUES DE LA SORBONNE.

CONFÉRENCE DE M. JAMIN.

La foudre.

Les anciens ne connaissaient la foudre que pour la craindre. Ils l'avaient personnifiée dans une divinité redoutable, le plus puissant des dieux, qui était censé la lancer comme les soldats lançaient leurs javelots. Ils ne savaient point s'en garantir. Tibère se couvrait la tête d'une couronne de laurier; Auguste portait des peaux de veaux marins ou se cachait dans une cave. Ces précautions montrent qu'on n'avait encore, à cette époque, aucune idée exacte des effets de la foudre. Pline, il est vrai, rapporte que les Étrusques savaient attirer le feu du ciel que Numa employait contre ses ennemis, et que Tullus Hostilius fut foudroyé dans ses expériences. Mais cela n'est pas sûr, et rien ne prouve que les anciens aient eu des notions quelconques sur la nature de la foudre.

Mais, ce qui est bien certain, c'est que dès le VIe siècle avant notre ère, Thalès de Milet et tous les philosophes de son temps connaissaient un fait qui est devenu la base de notre science moderne; ils étaient loin d'en soupçonner l'importance.

Ce fait le voici : L'ambre frotté attire les corps légers. Cette notion s'est transmise d'âge en âge sans recevoir aucun développement, jusqu'au XVIe siècle et au XVIIIe, époque où tout à coup elle prit une subite extension. Il est nécessaire d'en faire une histoire abrégée.

Commençons par l'expérience : On frotte dans toute sa longueur, avec une étoffe de laine, un bâton de verre ou de cire d'Espagne, et on l'approche d'un ballon léger suspendu à un fil de soie. On voit le ballon d'abord s'envoler vers le cylindre qui l'attire, puis s'en éloigner par l'effet d'une sorte de répulsion. Le phénomène n'a pas lieu quand le cylindre n'a pas été frotté. Il a donc acquis, par le frottement, une propriété nouvelle.

A quelle cause faut-il rapporter cette propriété? Nous ne le savons pas. Mais les physiciens d'autrefois n'étaient point embarrassés pour si peu, ils imaginaient les causes quand ils ne les connaissaient pas. Ils imaginèrent donc un *fluide*, c'est-à-dire un corps sans pesanteur, invisible, intangible, enfin un être en quelque sorte immatériel. Ils lui donnèrent le nom de *fluide électrique*, dérivé du nom grec de l'ambre, et l'on admit que ce fluide se répand partout. Il peut se faire que cela soit vrai, mais il y a bien plus de chances pour que cela ne soit pas. Nous conservons le mot par habitude de langage; nous parlerons de l'*électricité*, du *fluide électrique*.

On chercha à développer cette expérience fondamentale. C'est Gilbert qui, le premier, reconnut que la propriété d'attirer les corps légers peut être communiquée

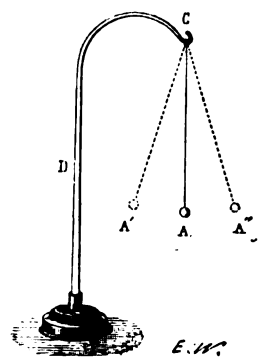


FIG. 118. — Pendule électrique (d'après la *Physique* de M. Desains).

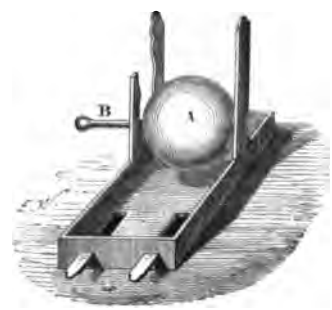


FIG. 119. — Machine électrique d'Otto de Guéricke (d'après la *Physique* de M. Desains).

par le frottement à une foule de substances. Il se servait, pour ses expériences, d'un simple tube de verre frotté avec de la laine. Otto de Guéricke, le célèbre bourguemestre de Magdebourg, construisit la première *machine électrique*. Il forma un globe de soufre en faisant fondre du soufre concassé dans une sphère creuse de verre qu'il brisa ensuite, et il fixa ce globe sur un axe qu'on faisait tourner d'une main par une manivelle, pendant que de l'autre on tenait un morceau de drap appliqué contre le globe. On sait que le même Otto de Guéricke est l'inventeur de la machine pneumatique et des hémisphères de Magdebourg; il a aussi annoncé la périodicité des comètes. Ce fut un des hommes les plus savants de son temps; il vivait vers le milieu du XVIIe siècle.

Après lui, le physicien anglais Hawksbee remplaça le globe de soufre par un cylindre de verre, puis on y substitua des plateaux circulaires de verre, qui sont encore d'usage dans nos machines électriques. Le globe ou le

Digitized by Google

plateau de verre tournent entre des coussins nommés frottoirs; en face est installé un cylindre de métal. Grâce à cette disposition, les effets électriques augmentent

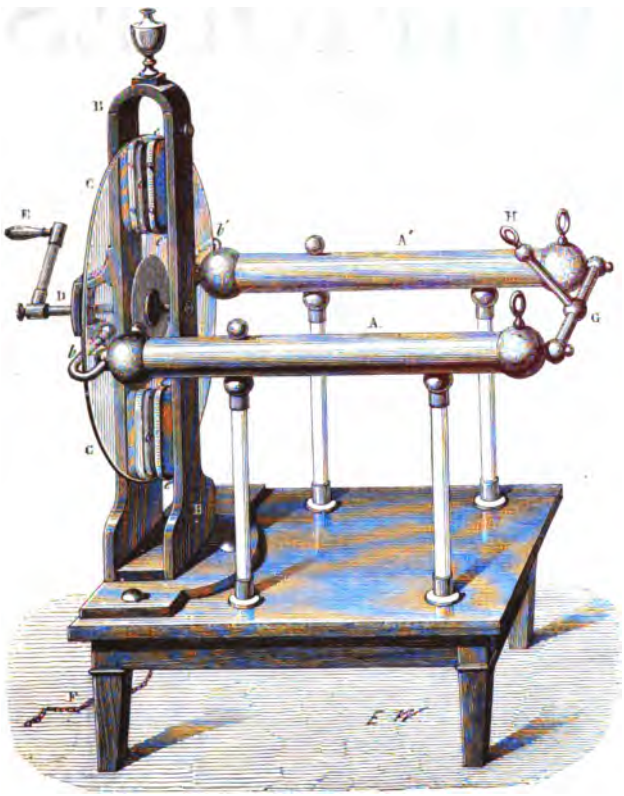


Fig. 120. — Machine électrique (d'après la *Physique* de M. Desains).

dans une proportion considérable, et l'on arrive à produire des étincelles.

A partir de la publication des *Experimenta nova Magdeburgica* d'Otto de Guéricke, la singularité de ces phénomènes éveille l'attention générale et les progrès se multiplient, grâce à l'invention de la machine électrique.

En 1727, un physicien anglais, Grey, électrisait un tube de verre creux qu'il avait fermé par un bouchon de liége. Il vit le bouchon prendre la propriété d'attirer les corps légers lorsque le tube avait été frotté, bien qu'il fût incapable d'acquérir cette propriété lorsqu'on le frottait directement. On en conclut que le liége prenait la vertu électrique du verre par communication et la gardait ensuite. Grey attacha au bouchon une très-longue corde de chanvre et la tendit horizontalement en la soutenant par des rubans de soie attachés au plafond de la salle; il vit la vertu électrique se propager dans toute l'étendue de la corde. Cette expérience est facile à répéter. On en conclut que l'électricité se *transmet* par la corde à des distances quelconques, en d'autres termes, que la corde de chanvre *conduit* l'électricité.

Un hasard compléta l'expérience fondamentale de Grey. Un des rubans de soie se rompit, on le remplaça par un fil de laiton. Tout à coup la corde cessa de manifester des attractions. C'est que les rubans de soie empêchaient l'électricité de s'échapper, et que le laiton lui offrait ensuite une issue par où elle se perdait. Donc, s'il y a des corps qui conduisent l'électricité, comme le chanvre et les métaux, il y en aussi qui ne la conduisent pas, ou qui sont *isolants*; c'est le cas de la soie, du verre, du soufre, etc. De là deux conséquences : qu'il faut isoler, par des supports de verre, les corps qui s'électrisent dans la machine, c'est-à-dire le plateau et le cylindre de métal, qu'on appelle le *conducteur*, et sur lequel s'accumule l'électricité; ensuite, que l'électricité peut être transmise à distance par l'intermédiaire des corps conducteurs.

Le corps humain est-il conducteur? S'il ne l'était pas, nous n'aurions rien à craindre. S'il l'est, au contraire, nous serons traversés par l'électricité, brusquement, en approchant de la machine, et il pourra en résulter des effets graves. La question vaut la peine d'être traitée et résolue. Une piquante expérience suffira pour cela. Nous plaçons sur un tabouret, isolé par des pieds de verre, une personne qui applique une main sur le cylindre de la machine. En la touchant en un point quelconque du corps, nous obtenons des étincelles. Le corps humain conduit donc l'électricité.

Mais lorsqu'on électrise une personne placée sur le tabouret isolant, on voit aussi ses cheveux se dresser comme s'ils se repoussaient entre eux. Plaçons sur un conducteur un bonnet turc garni d'une houppe de soie, nous la verrons se dresser en aigrettes divergentes. L'expérience de la *tête de loup* consiste à faire diverger de la même manière une houppe de rognures de papier. En électrisant une corbeille pleine de ballons, on voit ces derniers s'élever et se disperser par l'effet d'une répulsion naturelle. De ces expériences simples et amusantes, nous tirons une conclusion capitale : *Les corps électrisés repoussent ceux qui partagent leur électrisation.*

Dans la machine électrique, la roue de verre est chargée d'électricité et elle charge à son tour le conducteur. Mais les coussins s'électrisent-ils aussi? Nous pouvons résoudre cette question dans le sens affirmatif, en montrant que, mis en rapport avec un conducteur, les coussins donnent lieu à des phénomènes analogues à ceux que nous avions obtenus avec le plateau de verre. Un ballon qu'on approche des coussins est attiré, puis lorsqu'il s'est chargé lui-même, repoussé.

Mais le même ballon, chargé par l'électricité du coussin, est attiré par le conducteur du plateau de verre. Il y a donc deux électricités différentes. L'une, qui se produit sur le verre : l'électricité *vitrée* ou *positive*; l'autre, que l'on obtient avec les coussins : l'électricité *résineuse* ou *négative*. Les corps chargés d'électricités de même nom se repoussent, et ceux qui ont des électricités contraires s'attirent. Ce fait a été découvert en 1733, par Dufay, intendant des jardins du Roi.

Mais comment ces deux fluides naissent-ils? Tendons une chaîne entre les coussins et le conducteur; les deux

Digitized by Google

fluides se mêlent et l'expérience prouve qu'il n'y a plus rien. On exprime cela par l'hypothèse d'un *fluide neutre*, qui contient des proportions égales des deux fluides contraires ; leur mélange détruit leurs effets. Tous les corps contiennent, à l'état naturel, du fluide électrique neutre ; en les frottant, on le décompose et l'on sépare les fluides de noms contraires dont la réunion produit le fluide neutre. Voilà comment, dans le système imaginé par Symmer, on rend compte de la production de l'électricité active.

Il faut encore mentionner un dernier détail, qui est capital. Si du conducteur de la machine on approche un autre conducteur, on obtient une étincelle. Si on le tient à une distance plus grande, le deuxième conducteur s'électrise aussi ; dans l'obscurité, on s'aperçoit qu'il en émane des effluves lumineux, des aigrettes. Il y a donc évidemment une *influence*. Comment se fait-elle ? Nous allons l'expliquer.

Figurons-nous deux conducteurs à l'état naturel et isolés. On charge le premier de fluide positif. Il y a du fluide neutre sur le second ; le fluide positif du premier conducteur le dédouble et attire le fluide négatif en repoussant le fluide positif. Si l'on décharge le premier

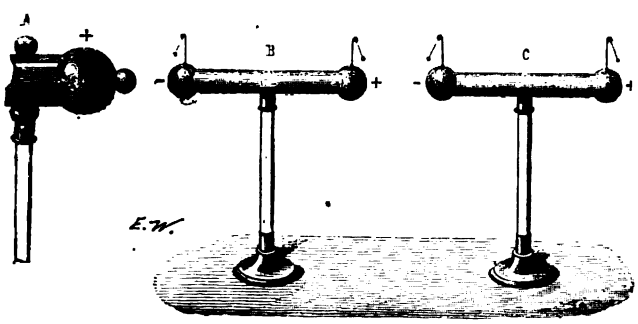


Fig. 121. — Production de l'électricité par influence (d'après la *Physique* de M. Desains).

conducteur, tout disparaît ; les fluides séparés se combinent de nouveau, mais silencieusement, sur le second conducteur. Mais, si on laisse le premier conducteur chargé, et qu'on en approche de très-près le second conducteur, une partie du fluide positif du premier se combine avec une partie égale du fluide négatif qui s'est accumulé sur le second conducteur, en face du premier ; les deux fluides contraires se neutralisent et se combinent, ce qui produit l'étincelle, et il reste sur le second conducteur une proportion du fluide positif libre, égale à celle qui a été annulée sur le premier conducteur. Les phénomènes d'influence s'expliquent donc facilement par les propriétés des deux fluides. C'est sur eux que sont fondés les *condensateurs*.

Plaçons une lame de verre bien sèche entre deux plateaux métalliques A, B, dont l'un est en communication avec la machine électrique. Le plateau A étant chargé positivement, le fluide neutre de B se décomposera et son fluide négatif sera attiré. Le fluide positif de A et le fluide négatif de B, se collent en quelque sorte sur le verre parce qu'ils s'attirent sans pouvoir se réunir. Dès lors on peut sans cesse augmenter la charge du plateau A,

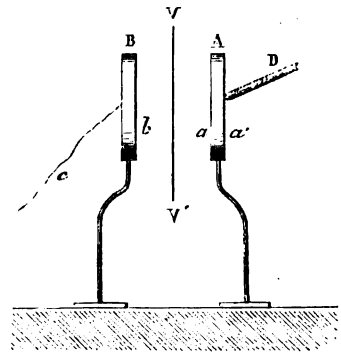


Fig. 122. — Théorie de la condensation électrique.

surtout lorsqu'on fait communiquer le plateau B avec le sol, qui lui enlève son fluide positif, de sorte qu'il n'y reste que le fluide négatif. Si alors on éloigne la source électrique, qu'on supprime la communication avec le sol, et qu'on enlève le plateau A et la lame de verre, on trouve que les deux électricités libres se sont portées sur le verre, et qu'il n'en reste rien sur les plateaux. L'accumulation des fluides a donc lieu sur le verre. Si l'on remet les plateaux et qu'on les réunisse par un arc métallique, on obtient une forte décharge.

Les appareils de ce genre s'appellent *condensateurs*. En repliant la lame de verre, on en fait un bocal. C'est l'appareil imaginé par Franklin (fig. 123) pour démontrer le

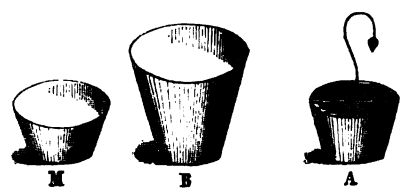


Fig. 123.

mode d'action des condensateurs. On plonge dans l'intérieur du verre B un cylindre de fer-blanc A qui le remplit, et l'on fait entrer le tout dans un bocal M aussi en fer-blanc. Si l'on électrise A en faisant communiquer M avec le sol, on obtient les effets que nous venons de décrire. Quand l'appareil est chargé et qu'on enlève d'abord A avec un crochet de verre, ensuite le bocal B, on ne trouve que très-peu d'électricité sur les armatures métalliques, tandis qu'en saisissant l'extérieur du verre avec une main et plongeant l'autre dans son intérieur, on entend une série d'étincelles, et l'on reçoit une série de commotions. Cet appareil explique les effets de la *bouteille de Leyde*, qui est une bouteille de verre, recouverte à l'intérieur et à l'extérieur d'armatures de feuilles d'étain.

Ce condensateur puissant fut découvert par hasard, à Leyde, en 1746, par Cunéus et Musshenbrœk. Cunéus voulait électriser de l'eau dans un flacon qu'il tenait d'une main, et à cet effet, il y avait plongé une tige métallique en communication avec la machine, sans aban-

Digitized by Google

donner le flacon, il voulut ensuite enlever la tige avec l'autre main; il reçut une commotion extrêmement vive. Musshenbrœk voulut essayer après lui; il éprouva le même effet. Il en fut si effrayé qu'il écrivit à Réaumur qu'il ne recommencerait pas pour la couronne de France. Allaman qui avait à son tour répété l'expérience, affirme en avoir perdu la respiration; le professeur Winckler a eu des convulsions, et ainsi de suite. Il faut que les hommes de ce temps aient été d'une trempe bien faible pour se laisser à ce point impressionner. Leur effroi

Fig. 124. — Bouteilles de Leyde (d'après la *Physique* de M. Desains).

d'ailleurs n'arrêta personne, et l'on se fit bientôt un amusement de ce qu'ils avaient tant redouté. Chacun voulut recevoir ou donner des commotions. L'abbé Nollet fit l'expérience avec trois cents hommes de la garde de Louis XV, qui se tenaient par la main et éprouvèrent tous à la fois le choc électrique.

On peut à volonté grandir les dimensions de la bouteille de Leyde, et alors ses effets sont encore plus frappants. M. Marcart a construit une véritable tourelle, qu'il nous a prêtée; il ne serait pas agréable d'en sentir les effets. Enfin, on obtient des effets beaucoup plus énergiques en groupant ces jarres en *batteries*, que l'on place

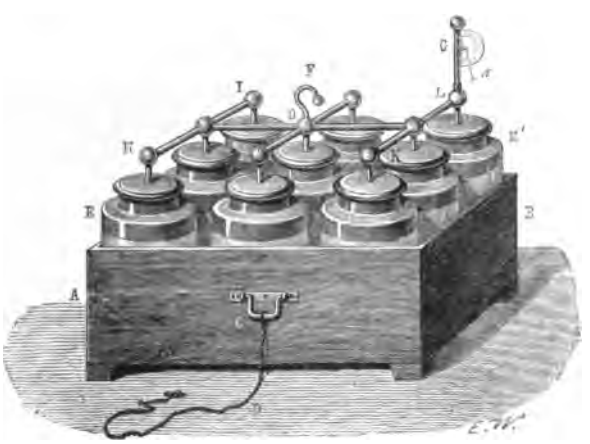


Fig. 125. — Batterie électrique (d'après la *Physique* de M. Desains).

dans des caisses de bois tapissées de feuilles d'étain. Les tiges métalliques qui conduisent le fluide dans l'intérieur des bocaux sont alors reliées entre elles par de gros fils de laiton et se terminent par un bouton unique que l'on fait communiquer avec la machine. Le général Morin nous a confié la puissante batterie électrique du Conservatoire des arts et métiers; M. Gavarret celle de l'École de médecine. Ces grandes batteries ne se chargent que lentement, et elles perdent beaucoup pendant le temps qu'on emploie à les charger au moyen de la machine électrique ordinaire. Il faut, dans ce cas, recourir à des sources d'électricité plus puissantes.

Certes, lorsque pendant un soir d'été on voit arriver avec appréhension des nues noires d'où sortent à chaque instant des éclairs éblouissants suivis de détonations formidables, lorsqu'on voit les animaux tués ou mutilés, les édifices incendiés et quelquefois démolis, les arbres fendus et déracinés; lorsqu'on assiste à ce développement imposant de la foudre, et qu'on vienne à comparer ces prodigieux effets avec les misérables étincelles de nos machines, il y a une telle disproportion dans les manifestations qu'on hésite à les rapporter à la même cause. Et pourtant Otto de Guéricke, quand il découvrit l'étincelle, et après lui Wall, n'ont pas craint un seul instant d'admettre qu'elles étaient identiques. Ils eurent la certitude et l'immense joie d'avoir découvert, non en apparence, mais dans sa vérité et dans sa nature, la cause réelle du plus magnifique des phénomènes atmosphériques. Après eux, depuis Musshenbrœk jusqu'à Nollet, pas un physicien n'hésita à professer les mêmes pensées. Mais dans la science, il ne suffit point de croire, il faut prouver; voilà pourquoi la postérité n'a gardé qu'un seul nom, celui de Franklin.

Le 22 juin 1752, Franklin sortit à pied de Philadelphie, accompagné de son fils, jeune garçon qui portait sur son dos un cerf volant. Il ne s'agissait point de jeux d'enfant; mais Franklin, le plus sage des hommes, craignait le ridicule qui s'attache toujours aux tentatives inutiles, et il prenait des précautions vis-à-vis de ses concitoyens. A quelque distance de la ville, le cerf-volant fut lancé, en face d'un faible orage qui s'approchait. La pluie mouilla la corde, qui devint conductrice; on en tira des étincelles nombreuses. On avait soutiré la foudre du nuage comme nous le faisons de la lame de verre, et cette foudre c'était l'électricité! L'histoire ne dit pas qui a rapporté le cerf-volant; il est permis de penser que ce fut Franklin.....

A aucune époque, aucune découverte n'excita semblable émotion. Déjà, au mois de mai 1752, Dalibard, dirigé par les idées de Franklin, avait, à Marly-la-Ville, dressé une tige de fer isolée par le bas, afin de constater l'électricité atmosphérique. Pendant son absence, le 10 mai, un orage avait éclaté à Marly, et plusieurs personnes, auxquelles il avait laissé des instructions, avaient réussi à tirer des étincelles de la barre de fer. Au mois de juin 1753, Romas répéta à Nérac l'expérience du cerf-volant, et confirma les résultats annoncés par le physicien américain. La corde avait une longueur de 260 mètres, elle était formée d'un fil de cuivre et terminée par un cordonnet de soie; avant le cordonnet, on suspendit un tuyau de fer-blanc qui devait conduire l'électricité à

Digitized by Google

terre. Un orage s'étant levé, Romas tira de ce conducteur, d'abord avec son doigt, des étincelles assez faibles, puis une plus forte, qui le renversa à demi. Il ne se servit plus alors que d'un *excitateur* métallique à manche isolé, et obtint de véritables lames de feu. Trois longues pailles qui se trouvaient sur le sol commencèrent à danser au-dessous du tuyau de fer-blanc, au grand amusement des spectateurs. Pendant toute la durée de l'expérience, les nuages cessèrent de donner des éclairs; Romas avait accaparé leur électricité.

Tout le monde voulut alors répéter ces expériences. Charles, Beccaria, Cavallo et beaucoup d'autres se mirent à étudier l'électricité de l'air. Un physicien de Saint-Pétersbourg, Richmann, paya sa curiosité de sa vie. Il avait dressé dans son laboratoire une tige de fer qui dépassait le toit et qui était isolée en bas par un tube de verre. Le 6 août 1753, il voulut, au moyen de cet appareil, étudier l'électricité d'un orage; il s'approcha trop près de la barre, et son aide vit une étincelle le frapper au front et l'étendre sans vie.

Cette triste expérience a ralenti le zèle des physiciens. On a renoncé aux expériences sur le feu du ciel emprunté directement aux nuages. Ne le regrettons point; de nombreux malheurs en auraient été la conséquence, et, d'ailleurs, tout était fait. La foudre était descendue sur la terre sous la forme d'étincelles électriques, sa nature était donc connue.

Que nous reste-t-il à faire? A montrer quels sont les effets de la foudre et comment nous pouvons les reproduire.

Avant tout, il faut grandir les effets des machines. La grande machine électrique du musée Teyler, à Harlem, et celle du Conservatoire des arts et métiers de Paris donnent déjà des étincelles de 60 centimètres. Mais nous disposons de sources d'électricité bien plus puissantes.

L'une est formée par la machine Armstrong. Voici de quelle manière elle fut découverte. En 1840, un mécanicien, W. Patterson, tenant d'une main la soupape de sûreté d'une chaudière de machine à vapeur et mettant l'autre dans la vapeur, vit des étincelles et sentit des secousses. Il se trouvait, par hasard, sur un massif isolant de briques chaudes; de cette façon, il établissait la communication entre la vapeur qui était chargée d'électricité positive et la chaudière chargée négativement. Sir W. Armstrong, qui s'est depuis rendu célèbre par l'invention de ses canons rayés, étudia cet effet. M. Faraday, qui s'en occupa aussi, démontra que c'est l'eau entraînée par la vapeur qui s'électrise en se frottant contre les parois de l'orifice d'échappement. On a basé sur ce phénomène une puissante machine électrique qui ressemble à une locomotive. La Faculté des sciences en possède une fort belle, achetée en Angleterre, mais elle aurait pris trop de place. On a dû également renoncer, pour cette raison, à l'emploi de quatre machines Armstrong d'un modèle plus petit, qui avaient été d'abord montées pour servir aux expériences de cette leçon.

Fig. 126. — Machine électrique à vapeur d'Armstrong (d'après la *Physique* de M. Desains).

Heureusement, il restait une autre source d'électricité, une invention toute française celle-là. C'est la ma-

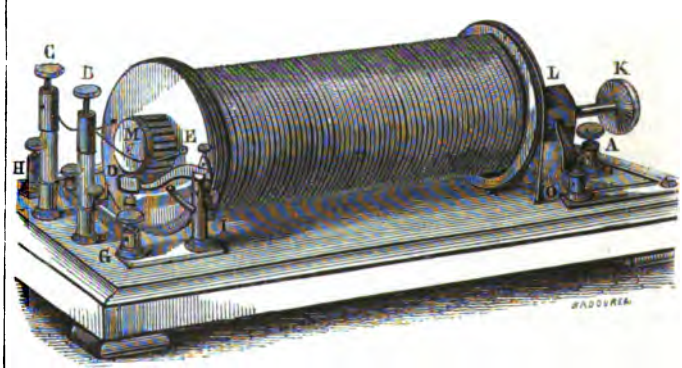


Fig. 127. — Bobine de Ruhmkorff.

chine d'induction de M. Ruhmkorff. Les effets surpassent de beaucoup ceux des plus puissantes machines Armstrong. Tout le monde connaît aujourd'hui la machine de Ruhmkorff, instrument de petite dimension et de grande puissance, construit par un ouvrier aussi habile que modeste, et qui récemment a mérité le prix de 50 000 francs offert par l'Empereur.

Digitized by Google

M. Ruhmkorff n'a pas seulement prêté ses appareils, il a consenti à les faire manœuvrer lui-même.

Une machine n'aurait pas suffi peut-être. Nous avons celle de l'École polytechnique, celle de la Sorbonne, enfin une troisième construite pour Bordeaux. Ces trois machines accouplées forment la plus puissante des sources électriques dont on ait peut-être jamais disposé. On en a la preuve par les étincelles qui s'obtiennent avec ces engins. Ils nous serviront à charger les grandes batteries. Les machines électriques ordinaires ne donneraient rien de comparable; ce serait un petit ruisseau pour remplir un lac, les pertes détruiraient sans cesse ce qui arriverait. Mais avec les machines de Ruhmkorff, en quelques secondes (dix secondes à deux minutes) tout est chargé. La détonation va en s'exagérant à mesure qu'on met plus de temps à charger les batteries.

Parcourons maintenant la série des effets de la foudre, et montrons que l'électricité peut les développer.

Dans la zone torride l'eau des mers s'évapore, et cette vapeur s'élève dans les hautes régions, puis de là prend sa course vers les pôles. Inversement, l'air froid et desséché des pôles arrive vers l'équateur et donne lieu aux vents alizés. Or, la vapeur est positive; donc un courant d'électricité positive s'élève en haut et va aux pôles. Il se meut dans l'air raréfié des hautes régions de l'atmosphère, et cet air raréfié est conducteur de l'électricité. Peut-être que les lueurs des aurores boréales n'ont pas d'autre origine. Une expérience semble confirmer cette opinion : quand on fait passer l'étincelle à travers un long tube rempli de gaz raréfié, on obtient des lueurs tout à fait semblables.

Il y a donc, dans les couches supérieures de l'atmosphère, de l'électricité positive. Un nuage la rassemble, c'est un orage. Cet orage est positif; il agit par influence sur la terre, où il développe l'électricité négative. Tous les objets terrestres se chargent négativement. On aperçoit des aigrettes lumineuses aux pointes, on entend des décrépitations, etc. Tout cela est bien connu, et depuis longtemps. Les auteurs anciens parlent d'émanations lumineuses observées aux extrémités des javelots. Ils donnent à ces phénomènes les noms de *Castor et Pollux*. Nos matelots les appellent *feux de Saint-Elme*. Voici ce qu'on lit à ce sujet dans les mémoires de Forbin :

« Pendant la nuit (1696), il se forma tout à coup un temps très-noir accompagné d'éclairs et de tonnerres épouvantables. Dans la crainte d'une grande tempête dont nous étions menacés, je fis carguer toutes les voiles. Nous vîmes sur le vaisseau plus de trente feux de Saint-Elme. Il y en avait un, entre autres, sur le haut de la girouette du grand mât, qui avait plus d'*un pied et demi* de hauteur. J'envoyai un matelot pour le descendre. Quand cet homme fut en haut, il cria que ce feu faisait un bruit semblable à celui de la poudre qu'on allume après l'avoir mouillée. Je lui ordonnai d'enlever la girouette et de venir; mais à peine l'eût-il ôtée de place, que le feu la quitta et alla se poser sur le bout du mât, sans qu'il fut possible de l'en retirer. Il y resta assez longtemps, jusqu'à ce qu'il se consumât peu à peu. »

De Saussure a constaté des phénomènes analogues dans les Alpes. Nous pouvons reproduire des apparences tout à fait analogues en plaçant une pointe vis-à-vis de la machine électrique.

On peut donc considérer comme démontré, que tout orage développe, par influence sur le sol, une électricité contraire à la sienne. Cette décomposition se fera surtout avec une grande énergie sur les corps bons conducteurs, tels que les terrains humides et les masses métalliques. En outre, elle sera la plus considérable possible sur les points les plus élevés : au sommet des clochers, des arbres ou des mâts. Nous sommes alors en présence d'un danger imminent. Si la nuée électrique se décharge, son action d'influence cesse en même temps, et les objets terrestres retournent brusquement à l'état naturel, et il en résulte des secousses violentes. On a vu des troupeaux entiers, des attelages de plusieurs chevaux, des groupes nombreux de personnes réunies, éprouver en même temps une commotion de ce genre et y succomber, sans qu'on trouvât ensuite aucune blessure aux parties supérieures des corps; mais souvent on en trouve à la plante des pieds, et l'on constate que les clous des chaussures sont arrachés et fondus. Ce phénomène se nomme le *choc en retour*.

Mais un phénomène plus terrible encore peut se produire : la recomposition directe du fluide neutre entre la terre et le nuage. On dit alors que le *tonnerre tombe* sur les objets qui sont frappés. Il est évident qu'il choisira de préférence les sommets les plus élevés et les corps les plus conducteurs. Au contraire, les mauvais conducteurs, terrains secs, corps isolants, etc., ne seront foudroyés que très-rarement.

Les effets de la foudre sont connus. Le premier, le plus grave, est la mort des hommes ou des animaux frappés. On trouve sur leurs cadavres des plaies profondes qui les sillonnent de la tête aux pieds, des congestions intérieures, des épanchements. Mais la mort n'est pas toujours la conséquence de fortes commotions; souvent les personnes atteintes par la foudre en sont quittes pour une paralysie. Une circonstance particulière, c'est qu'après l'évanouissement on ne garde aucun souvenir de ce qui est arrivé. Ainsi, le 11 juillet 1819, le tonnerre tomba sur l'église de *Châteauneuf-les-Moutiers*, département des Basses-Alpes. Il y tua 9 personnes et en blessa 82, y compris le curé. On remassa ce dernier complétement asphyxié; son surplis était en flammes; il revint à la vie deux heures après l'accident, et déclara n'avoir rien entendu, n'avoir rien su de ce qui se passait.

Quelquefois, la foudre opère des guérisons homœopathiques.

En 1762, à Kent, la foudre tomba dans la chambre du docteur Winter, paralysé depuis un an à la suite d'une attaque d'apoplexie; il reçut une violente commo-

Digitized by Google

tion après laquelle il se trouva complétement guéri. En 1819, à Niort, un malade atteint depuis plusieurs années d'un rhumatisme au bras gauche fut guéri par un coup de foudre qui le renversa.

Tous ces effets peuvent être imités par l'électricité. Il y a de grandes machines qui passent pour pouvoir tuer un bœuf. De même, l'électricité guérit des paralysies ou au moins les améliore. Jallabert fit une cure de ce genre à Genève, en 1748; Mauduyt, en 1785; aujourd'hui l'électro-thérapie est employée tous les jours dans le même but.

Après les effets qui s'attaquent à notre vie, ceux qui nous sont les plus sensibles sont les dommages causés à nos biens. Les églises, les maisons, les navires, sont souvent incendiés par les coups de foudre; cela n'arrive que trop souvent. Or, l'électricité produit des effets analogues. Nous le démontrons en mettant le feu par l'étincelle électrique à un vase rempli d'éther, ou en enflammant, dans le *pistolet de Volta*, un mélange d'oxygène et d'hydrogène.

Quand la foudre tombe sur un corps mauvais conducteur, elle produit deux sortes d'effets : une fusion ou des ruptures. Saussure, dans les Alpes; Ramond, au pic du Midi; de Humboldt, en Amérique, ont trouvé sur les rochers élevés des places vitrifiées où se voyaient des globules fondus ; ils ont tous attribué ces apparences à l'action du tonnerre. C'est encore cette action qui explique la formation des *fulgurites*. Ce sont des tubes vitrifiés qui s'enfoncent verticalement dans le sol. Ils ont été découverts, en 1711, en Silésie, par Hermann, et on les a découverts dans beaucoup de localités dont le sol est sablonneux. Enfin, le 17 juillet 1823, le professeur Hagen, de Kœnigsberg, a retiré un tube vitrifié de cette espèce d'un trou qu'un coup de foudre venait de faire au pied d'un arbre, près du village de Rauschen. L'enduit était vitré intérieur très-luisant, couleur gris de perle, et parsemé de points noirs dans toute son étendue. Un autre cas a été observé en 1858 à Oldenbourg. Beudant et d'autres ont reproduit ces fulgurites avec du sable mouillé et une grande batterie électrique.

Le plus souvent, les mauvais conducteurs sont brisés. En 1767, la foudre tomba sur le clocher de Saint-Brides, à Londres. C'est une flèche de pierres reliées par des crampons. A tous les scellements, les pierres furent fendues, pulvérisées, lancées au loin. En 1754, une pyramide de bois de 7 mètres de hauteur, qui terminait un clocher de Newburg, fut rasée et dispersée par un coup de foudre.

Les poutres frappées par la foudre se divisent en fragments très-petits et tombent en poussière au moindre contact. Les murs sont perforés ou renversés. En 1809, près de Manchester, un mur, pesant plus de 26 milliers de kilogrammes, fut arraché de ses fondements et déplacé de plusieurs mètres.

Les effets mécaniques de ce genre sont aisément produits par la machine de Ruhmkorff. Une expérience qu'on montre souvent, consiste à percer par l'étincelle de la machine un bloc de verre d'un décimètre d'épaisseur.

Les arbres méritent une mention spéciale. La foudre les fend et les réduits en filaments minces, souvent complétement desséchés. Le fluide passe ordinairement entre le bois et l'écorce qu'il projette au loin ; la séve s'évapore ou se décompose. On sait, d'ailleurs, que les arbres attirent la foudre : c'est à cause de l'humidité qu'ils renferment, car l'eau est bon conducteur.

Qu'arrive-t-il, en effet, pour les corps qui conduisent l'électricité? C'est le propre de toute bonne théorie de prévoir les phénomènes; nous pourrons conclure des effets de la décharge électrique ceux de la foudre. Les corps conducteurs offriront à la foudre un libre passage et ils l'attireront.

La cathédrale de Strasbourg fut, depuis sa construction, à cause de sa grande hauteur, le point de mire sur lequel venaient s'abattre tous les ans plusieurs coups de tonnerre. Pendant trente ans, la dépense moyenne allouée pour la réparation des dégâts fut de 3000 francs, et plusieurs fois l'existence du monument fut menacée. Depuis qu'un paratonnerre y avait été établi, on n'observa plus pendant longtemps aucun coup de foudre nouveau, lorsque le 10 juillet 1843, un violent orage éclata sur la ville, et la foudre tomba deux fois sur l'extrémité de la tige. La pointe de platine fut fondue sur une longueur de 6 millimètres, et le métal s'affaissa d'un côté en formant une goutte brillante.

En 1759, un détachement qui conduisait du fort Royal à Saint-Pierre le capitaine anglais Dibden, prisonnier de guerre à la Martinique, s'arrêta, pour se garantir de la pluie, au pied du mur d'une petite chapelle. Un violent coup de tonnerre le surprit dans cette position et tua deux soldats; du même coup, la foudre ouvrit dans le mur, derrière les deux victimes, un trou de 4 pieds sur 3. Toute vérification faite, il se trouva qu'au point où les soldats s'étaient appuyés correspondait, à l'intérieur de la chapelle, un ensemble de barres de fer massives qui supportaient un tombeau.

L'attraction que les corps conducteurs exercent sur la foudre, explique aussi le retour du fluide par la même route lorsqu'il frappe certains édifices. Sa direction est le plus souvent déterminée par des pièces métalliques cachées dans l'épaisseur des murs. Ainsi, en 1665, le tonnerre tomba sur le clocher de l'abbaye de Saint-Médard, à Soissons, et parcourut l'édifice en se divisant et en suivant plusieurs routes très-irrégulières, où il marqua son passage par divers dégâts. Onze ans plus tard (1676), la même abbaye fut de nouveau foudroyée, et le fluide suivit exactement le même chemin. Une autre fois, la foudre frappa le clocher d'Antrasme, près Laval, pénétra dans l'église, y fondit des dorures, perça des trous et produisit différents dégâts qui furent réparés. Un an après, la foudre tomba encore sur la même église et passa par les mêmes points.

Digitized by Google

Quand les corps conducteurs que traverse le fluide sont solides, ils fondent ou se volatilisent. On le démontre aisément à l'aide de la machine de Ruhmkorff, dont la décharge fait fondre un fil de platine ou volatilise un fil de cuivre tendu sur une feuille de papier, sur laquelle se déposent les résidus de la combustion. On connaît un grand nombre d'exemples d'effets de ce genre produits par la foudre. Aristote dit qu'on a vu le cuivre d'un bouclier fondu par le tonnerre sans que le bois qu'il recouvrait fût endommagé. Pline raconte que des pièces de monnaie contenues dans un sac ont été fondues sans que le sac fût brûlé, sans même que le cachet de cire qui le fermait ait été ramolli.

En 1827, le paquebot *le New-York*, de 520 tonnes, reçut deux coups de foudre successifs dans la même journée. Au premier coup, il éprouva de graves dégâts; un gros tuyau de plomb fut mis en fusion. Au deuxième coup, le paratonnerre avait été placé; il se composait d'une tige de fer de 1^{m},20 et de 11 millimètres de diamètre et d'une chaîne d'arpenteur de 40 mètres de longueur qui descendait dans l'eau, et qui était fixée avec du fil de fer de 6 millimètres de diamètre. Tout le bâtiment fut éclairé d'une vive lueur; en même temps, la chaîne fut dispersée en fragments brûlants et en globules enflammés gros comme des balles. Ils mirent le feu sur le pont en cinquante endroits, malgré une couche de grêle qui le couvrait et la pluie qui tombait à torrents. La tige elle-même fut fondue sur une longueur de 30 centimètres. Ce fut, d'ailleurs, le seul dégât.

En 1759, le tonnerre tomba sur une maison de Londres. Un cordon de sonnette fut fondu et partiellement volatilisé; on voyait le long du mur une trace de parcelles noires qui dessinaient la place que le cordon avait occupée, et l'on trouva sur le parquet une traînée de globules arrondis qui s'y étaient incrustés en brûlant les planches autour d'eux. On avait vu pendant l'événement une pluie de feu tomber du cordon sur le plancher.

En 1773, le tonnerre tomba, à Naples, sur l'hôtel de lord Tylney. Il traversa sept pièces dans lesquelles il y avait plus de trois cents personnes et deux antichambres où attendaient plus de deux cent cinquante domestiques, mais sans blesser personne dangereusement, grâce aux dorures des corniches, des baguettes des tapisseries des fauteuils, lesquelles furent volatilisées par la foudre.

Un des coups de foudre les plus curieux est celui qui est raconté par Bridone. Madame Douglas regardait par une fenêtre pendant un orage; la foudre frappa le fil de fer qui soutenait le bord de son chapeau et le fondit. Le chapeau fut perdu, mais la dame n'eut aucun mal. Une autre fois, pendant un temps orageux, une jeune personne étend la main pour fermer une fenêtre; la foudre part, et le bracelet que porte la demoiselle disparaît si complétement qu'on n'en trouve plus aucun vestige. Ces faits montrent avec quelle précision singulière la foudre flaire, pour ainsi dire, les parties métalliques et évite les étoffes isolantes.

Jusqu'ici, tout est bien net. Les effets de la foudre sont exactement ceux de l'électricité, et il semble qu'il n'y ait plus qu'une conclusion à tirer : la foudre est la décharge électrique, l'étincelle est l'éclair et le tonnerre en est le bruit. En gros, c'est vrai; mais il faut, dans les détails, ajouter beaucoup.

L'éclair a réellement la forme des étincelles électriques; il en imite les zigzags sinueux, il en offre la teinte bleuâtre et il est instantané comme l'étincelle de la machine. M. Wheatstone a prouvé que la durée de l'éclair n'est pas d'un millionième de seconde. Il recevait la lumière d'éclairs nocturnes sur des disques composés de rayons très-serrés et qu'il faisait tourner rapidement. Le disque paraissait toujours fixe pendant qu'il était illuminé par l'éclair; il n'avait donc pas le temps de se déplacer pendant la durée de ce dernier, quelle que fût sa vitesse de rotation. Quand le disque était éclairé par une lampe dont on découvrait pendant un instant seulement la lumière, il paraissait d'une teinte uniforme et l'on n'y distinguait aucun rayon à cause de la persistance des impressions venues de différents points que chaque fente avait parcourue pendant la durée de l'illumination. La durée de l'éclair est donc au-dessus de nos moyens de mesure, et l'expérience prouve la même chose pour l'étincelle électrique.

La plus grande disproportion entre l'éclair et l'étincelle se révèle lorsqu'on considère leurs longueurs. L'éclair a deux, trois, jusqu'à dix lieues d'étendue.

Il est impossible de supposer qu'il y ait dans l'air une aussi formidable quantité d'électricité, capable de produire des étincelles de plusieurs lieues de long. D'ailleurs les conducteurs qui devraient conduire l'éclair sont des nuées, des gouttes de pluie, c'est-à-dire des corps discontinus. Il faut donc admettre que l'éclair n'est qu'une succession d'étincelles qui sautent d'un conducteur à l'autre.

Il est facile d'imiter cet effet par l'expérience, au moyen des *appareils étincelants*. Ce sont des serpents de verre sur lesquels on a collé des séries linéaires de petites lames métalliques voisines qui forment des dessins

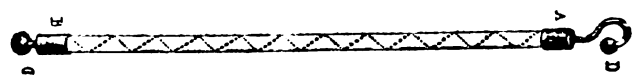


Fig. 128. — Tube étincelant (d'après la *Physique* de M. Dessains).

variés. L'étincelle saute d'une lame à l'autre et semble voleter entre toutes les lames à la fois. A cette catégorie appartiennent les *tubes* et les *globes étincelants* et le *carreau fulminant*. Voilà comment une étincelle médiocre peut s'allonger extraordinairement par des bonds successifs.

Chacune de ces étincelles élémentaires est bruyante. L'éclair doit donc produire une série de détonations successives pour un observateur auquel le bruit arrive à la fois d'un grand nombre de points diversement éloignés. Supposons une série de canons installés sur une route. Si tous

Digitized by Google

tirent à la fois, le bruit nous arrivera néanmoins par coups successifs; nous entendrons d'abord le plus rapproché, ensuite, au bout d'une seconde, celui qui sera de 340 mètres plus loin que le premier; au bout de deux secondes, celui qui sera de 680 mètres en arrière, et ainsi de suite, à cause de la vitesse du son, qui est de 340 mètres par seconde. Les premiers coups sont très-distincts, ensuite ils deviennent sourds, prolongés, confus et se perdent dans le lointain. C'est là le roulement du tonnerre. Mais ceux qui ont eu la bonne fortune de voir tomber la foudre par un éclair subit et court, savent que le bruit et la lumière sont confondus et que le bruit est sec.

Il y a deux moyens d'agrandir les effets de nos machines pour nous rapprocher des apparences de la foudre. On peut agrandir la cause, on peut amplifier optiquement l'effet. Ainsi nous pouvons demander à nos batteries des étincelles considérables qui éclatent avec un bruit assourdissant; mais nous pouvons aussi projeter l'étincelle sur le mur par la lanterne électrique, c'est comme si elle était grossie et alors elle imite parfaitement l'éclair.

Le devoir d'un historien est de tout dire, aussi bien les faits qui sont d'accord avec ses idées, que ceux qui les contredisent. N'y a-t-il aucun cas de foudre inexpliqué, aucune contradiction avec la théorie? Il y en a, en effet, et de très-graves.

Nous n'avons mentionné que les éclairs en zigzag. Or, depuis des siècles, on a parlé de boules de feu, d'une *foudre globulaire*. Un des cas les plus curieux est celui qui a été raconté par M. Babinet. Un tailleur, logé près du Val-de-Grâce, à Paris, était assis auprès de sa table quand il vit, après un fort coup de tonnerre, le châssis garni de papier qui fermait la cheminée s'abattre comme renversé par un fort coup de vent, et un globule de feu, gros comme la tête d'un enfant, sortir doucement de la cheminée et se promener lentement par la chambre à peu de distance du sol. L'aspect du globe de feu était celui d'un jeune chat roulé en pelote, il était lumineux, mais paraissait froid. Ce globe s'approcha des jambes de l'ouvrier, qui en évita le contact en écartant les pieds. Après quelques excursions au milieu de la chambre, le météore s'éleva à la hauteur de la tête de l'ouvrier qui, pour l'éviter, se renversa sur sa chaise. Tout à coup, le globe de feu s'allongea un peu et se dirigea obliquement vers un trou percé dans la cheminée et qui avait servi à faire passer le tuyau d'un poêle, mais qui était alors fermé par un papier collé dessus. Le globe de feu décolla le papier et remonta dans la cheminée; au moment où il pouvait avoir atteint l'extrémité du tuyau, on entendit une explosion formidable, qui renversa une partie du faîte de la cheminée.

Un autre cas curieux de foudre globulaire a été observé, le 17 mars 1852, à la station de Beuzeville, sur le chemin de fer du Havre. Après un coup de tonnerre, on vit sortir, d'un arbre foudroyé, un globe de feu suivi d'étincelles, qui vint se poser, «comme un oiseau», sur le fil du télégraphe électrique, où on le vit se dissoudre lentement. Au même instant tous les appareils télégraphiques tournèrent rapidement et donnèrent de fortes étincelles. Ces faits ne sont pas les seuls; on en cite un nombre considérable, et qui tous sont bien constatés; mais, dans l'état actuel de nos connaissances, ils sont inexplicables; la science ne craint pas de l'avouer. Elle marche ainsi de l'inconnu au connu, et tout fait, bien constaté, qu'elle ignore, amène des découvertes.

Nous venons de découvrir la vraie cause de la foudre. On peut se demander à quoi cela nous a servi. Cela nous sert d'abord à *savoir*. Le premier instinct, le plus grand bonheur de l'homme, c'est d'apprendre, de savoir et d'enseigner; de mettre dans un fonds commun les découvertes antérieures et présentes pour en faire, en quelque sorte, le trésor intellectuel de la société. C'est là ce qui l'élève à ses propres yeux, ce qui l'ennoblit et le rapproche de Dieu.

Mais encore, à côté de cette satisfaction purement spéculative, accessible aux esprits d'élite, il y a la prise de possession de la nature. Une fois connue, la foudre peut être enchaînée et ses effets prévenus. Le problème vaut la peine d'être résolu; les dangers que nous fait courir la foudre sont assez grands pour mériter qu'on s'en occupe. D'après un relevé statistique de M. Boudin, depuis 1835 à 1863, on a compté, en France, 2238 personnes tuées roide par la foudre; le maximum annuel s'élève à 111, le minimum à 48; en moyenne il y a, chaque année, 80 personnes de foudroyées. En évaluant le nombre des personnes blessées par la foudre au double du nombre des personnes tuées, on aurait un total moyen de 240 par an. Les dégâts que la foudre occasionne ne sont pas moins considérables. Nous ne citerons qu'un seul exemple : pendant la nuit du 14 au 15 avril 1718, la foudre tomba sur vingt-quatre clochers, dans l'espace compris, le long de la côte de Bretagne, entre Landernau et Saint-Pol-de-Léon.

Tous les effets de la foudre sont destructeurs, sauf un seul : lorsqu'elle traverse un corps conducteur. Dans ce cas, elle se laisse guider docilement, et sans bruit comme sans effet elle va se perdre dans le sol. C'est ce fait qui a fourni le moyen de préserver les édifices. On plante sur le toit une barre de fer verticale, qui est prolongée jusqu'au sol : c'est le *paratonnerre*. Sa découverte a été la conséquence facile et nécessaire des expériences de Franklin.

Le paratonnerre attire la foudre et la conduit dans le sol. Mais on ne connaîtrait que la moitié de ses effets si l'on se bornait à celui-ci. On peut décharger une machine en lui présentant une pointe métallique à une certaine distance, c'est ce qu'on appelle le *pouvoir des pointes*. De même une pointe dirigée vers le ciel le déchargera. L'extrémité du paratonnerre laisse échapper, sous forme d'auréole ou d'aigrette, vers le nuage superposé, une électricité contraire à celle du nuage, qu'elle ra-

Digitized by Google

mène à l'état naturel. D'après cela, l'effet permanent d'un paratonnerre sera de diminuer l'intensité des manifestations électriques des nuages; c'est aussi ce que toutes les statistiques viennent prouver.

On a, d'ailleurs, démontré, par une expérience directe, l'existence de ces effluves. Beccaria, en 1753, dressa sur une église de Turin une barre isolée portant une pointe mobile, qu'on pouvait tourner vers le ciel ou vers la terre. Cette pointe communiquait avec le sol par un conducteur discontinu. Par un temps d'orage, quand la pointe regardait le ciel, des étincelles très-rapprochées remplissaient l'interruption du conducteur; mais lorsqu'on laissait retomber la pointe sur la terre, les étincelles cessaient tout à coup.

On a quelquefois contesté l'efficacité, l'utilité des paratonnerres. Mais la statistique répond victorieusement à ces assertions. Nous avons déjà cité l'exemple de la cathédrale de Strasbourg, si exposée autrefois, qui a été complétement préservée depuis qu'on y a établi un paratonnerre. Le palais Valentino, à Turin; l'église Saint-Marc, a Venise; la tour de Sienne, fournissent des exemples tout aussi frappants de l'action préservatrice des paratonnerres. Si à Saint-Denis, si à Rouen, on avait observé cette précaution, on n'aurait pas perdu deux beaux monuments d'architecture.

En Angleterre, la marine perdait (on l'a prouvé par une enquête) des centaines de millions en moins de dix ans. Depuis l'installation des paratonnerres à bord des navires, la face des choses a changé, et les seuls dégâts qu'on ait à déplorer sont ceux qui arrivent aux navires non préservés.

Voilà à quoi la science a servi. Mais elle a servi à autre chose encore. Il ne suffit pas de maîtriser la foudre, il faut l'asservir, la plier à nos usages, en faire un démon familier. C'est ce que nous avons fait depuis l'origine de ce siècle.

L'électricité dore, argente nos métaux. Elle galvanise nos candélabres, nos fontaines, les portes de nos maisons. Elle enflamme les gaz dans le moteur Lenoir. Surtout, oui, surtout, elle a donné la télégraphie. Jupiter, détrôné, réduit au rôle d'esclave industrieux, porte nos messages et fait nos commissions.

La machine de Ruhmkorff a été portée en Chine, elle a fait sauter les forts du Peï-ho. En Crimée, elle enflammait les mines de poudre; en Amérique, elle faisait sauter les vaisseaux par le moyen des torpilles. Enfin, pour nous arrêter sur un exemple plus utile, plus dans nos besoins et dans nos idées, c'est elle qui, tous les jours, met le feu aux mines qui percent le mont Cenis. Il suffit d'un bouton qu'on tourne, d'une étincelle qu'on lance, et l'explosion a lieu aussitôt. — Radau.

ENSEIGNEMENT LIBRE.

PHYSIOLOGIE MÉDICALE

COURS DE M. MAREY (1).

Du mouvement dans les fonctions de la vie.

IV

DE LA VITESSE DE LA PROPAGATION DE L'ACTION NERVEUSE.

C'est sous ce titre que Helmholtz publia en 1850 une de ses plus brillantes expériences, en montrant qu'on peut déterminer d'une manière précise le temps que l'action nerveuse met à parcourir une longueur de nerf déterminée. Diverses méthodes furent employées pour obtenir cette détermination avec le plus de rigueur possible. Après Helmholtz, Valentin reprit ces expériences et confirma les résultats obtenus par son illustre devancier.

Dans toutes ces recherches, le plan que l'on suivait consistait en ceci : 1° Exciter un nerf dans le voisinage du muscle qu'il anime, et déterminer l'intervalle qui s'écoule entre l'excitation du nerf et la contraction qui en résulte. 2° Exciter le nerf en un point plus éloigné du muscle et voir de combien le retard de la contraction sur l'excitation s'est accru. — Cet accroissement doit nécessairement s'expliquer par la plus grande longueur que le courant nerveux doit parcourir dans le second cas, il indique donc la vitesse du courant nerveux dans la longueur du nerf sur laquelle on a opéré, et permet de déduire la vitesse absolue de ce courant. Deux méthodes successives ont été employées par Helmholtz. Dans la première série d'expériences, le savant physiologiste chercha à mesurer les intervalles qui séparent l'excitation du nerf de la contraction du muscle, en estimant par la méthode de Pouillet la durée d'un courant qui traverse un galvanomètre au moment où se produit l'excitation du nerf, et qui cesse au moment où le muscle se contracte.

Voici en quoi consiste la méthode de Pouillet. Étant donné un courant constant, celui-ci imprime une certaine déviation à l'aiguille d'un galvanomètre, mais il a besoin pour cela d'agir pendant un certain temps. Toutes les fois que la durée d'application du courant sera très-courte, l'aiguille du galvanomètre n'éprouvera qu'une déviation incomplète et de plus en plus faible quand le courant sera de plus en plus court. Or, on peut construire des tables qui indiquent la durée du courant pour chacune des déviations incomplètes du galvanomètre, ce qui permet, à la seule inspection de l'aiguille, d'estimer la durée du courant qui l'a influencée.

L'installation de l'expérience de Helmholtz était basée sur ce principe. Sur le trajet du courant qui traversera le galvanomètre est disposée une plaque métallique sur laquelle repose une pointe de métal attachée à l'extrémité d'un muscle suspendu au-dessus de la plaque. La pointe et la plaque communiquant chacune avec un bout du fil de la pile établissent par leur contact la clôture du circuit. La moindre contraction du muscle éloignant la pointe de la plaque amènera la rupture de ce circuit. Cela posé, supposons qu'en d'autres points du circuit se trouvent une pile et un galvanomètre, l'aiguille

(1) Voyez les numéros 10, 12 et 20.

Digitized by Google

sera déviée pendant le passage du courant à travers le fil, la plaque et la pointe métallique; admettons enfin qu'en un point de ce circuit existe une rupture avec une touche qui permette à volonté d'établir le contact. Cette touche n'agit pas seulement pour fermer le courant du galvanomètre mais par un mécanisme facile à comprendre, elle rompt un autre courant et provoque ainsi la décharge d'une bobine d'induction qui va exciter le nerf en un point.

Il est clair que dans l'instant où l'on appuie sur la touche le nerf est excité, et qu'en même temps le courant du galvanomètre commence. D'autre part, à l'instant où le muscle se contracte, le circuit du galvanomètre est rompu. L'aiguille de l'instrument aura donc subi l'influence du courant pendant tout le temps qui s'est écoulé entre l'excitation du nerf et la contraction du muscle; la durée de cet intervalle est estimée au moyen de tables, d'après la déviation que l'aiguille a subie.

Si l'on fait ainsi deux expériences comparatives en excitant deux points différents du nerf, on voit que, si l'excitation porte sur le point du nerf le plus éloigné du muscle, on obtient un plus grand retard pour la contraction. Comme moyenne de vingt-deux expériences comparatives, Helmholtz trouva que, pour parcourir une longueur de nerf de 43 millimètres, le courant employait environ 0″,00175 ce qui correspondrait à une vitesse de 24ᵐ,6 par seconde (1).

A cette méthode d'un emploi difficile, Helmholtz substitua bientôt la méthode graphique. Un cylindre tournant recevait le tracé de la contraction musculaire, ce cylindre, d'autre part, portait un excentrique qui, à un moment de sa rotation, rompait le courant d'une pile et produisait une secousse d'induction par laquelle le nerf était excité. La longueur de la ligne des abscisses, tracée sur le cylindre entre le point où l'excentrique provoquait l'excitation du nerf et celui où le muscle accusait sa contraction, servait à mesurer l'intervalle qui séparait ces deux phénomènes.

Valentin se servait d'un chronomètre à deux aiguilles dont l'une battait les dixièmes, et l'autre les millièmes de seconde. Les deux aiguilles, partant de zéro au moment où l'on excitait le nerf, étaient arrêtées dans leur course par un électro-aimant au moment de la contraction du muscle. L'espace parcouru sur le cadran indiquait le temps dont on cherchait la mesure.

En vous décrivant ces différentes méthodes, je n'ai fait messieurs, que vous indiquer les principes sur lesquels elles reposent, mais ceux d'entre vous qui connaissent la complication du dispositif réel de ces appareils comprendront l'importance qu'il y aurait à le simplifier. Il faudrait que ces expériences, ramenées à un cas particulier de l'emploi des enregistreurs dont nous disposons, puissent être facilement répétées, afin qu'on puisse étudier l'influence qu'exercent différents agents sur la vitesse de transmission du courant nerveux. Helmholtz nous a appris déjà que le froid appliqué aux nerfs ralentit beaucoup cette vitesse. Quel serait l'effet des différentes substances médicamenteuses ou toxiques?

Pour réaliser ces expériences à l'aide de l'enregistreur que vous connaissez déjà, voici la disposition que j'ai employée.

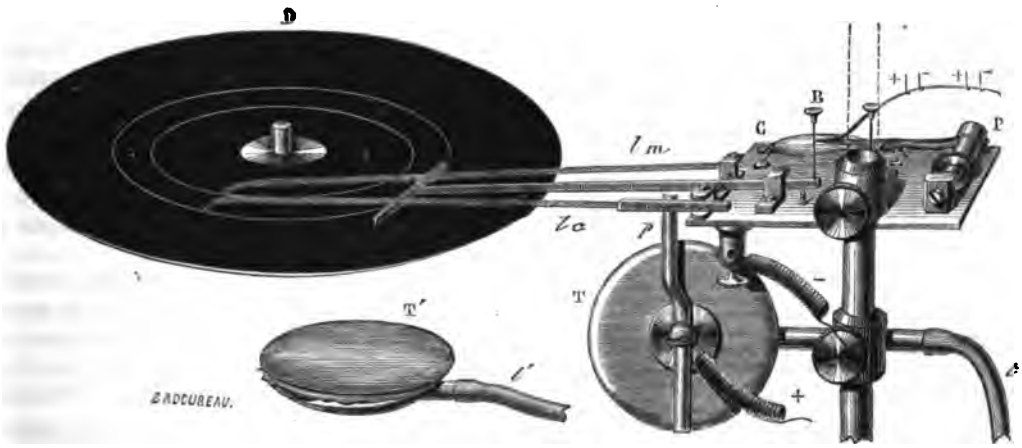


Fig. 129. — Appareil pour déterminer la vitesse du courant nerveux.

Description de l'appareil destiné à déterminer la vitesse du courant nerveux. — Au-dessus du volant de l'enregistreur et sur le prolongement de son axe de rotation, j'établis un disque de verre enfumé D (fig. 129), tournant dans un plan horizontal. Valentin a déjà utilisé avec avantage cette disposition pour étudier les phases de la contraction musculaire. Ce disque devra, dans notre expérience, recevoir le tracé de l'excitation du nerf et celui de la contraction du muscle. Afin de déterminer avec une parfaite exactitude la vitesse de rotation dont il est animé, j'emploie la méthode de Wertheim, c'est-à-dire j'enregistre sur sa surface les vibrations d'un diapason bien réglé qui exécute cinq cents vibrations simples par seconde.

Reste à décrire l'appareil qui inscrit, d'une part, l'instant où le nerf est excité, et d'autre part, le moment où le muscle se contracte, à cet effet, j'établis sur un support une plaque carrée de cuivre portée par une virole qui reçoit l'axe vertical du support, et qu'un bouton de pression permet de fixer à la hauteur convenable.

Sur cette plaque est couché le muscle gastrocnémien d'une grenouille, adhérent d'une part au fémur qu'une pince P maintient fixe, tandis que le tendon C est accroché au petit bras d'un levier coudé dont le bras le plus long *lm*, va frotter par son extrémité pointue sur la surface du disque. Chaque contraction du muscle déviera le levier et tracera sur le disque l'indication de ce mouvement. Le nerf qui doit être

(1) Müller, *Archiv. für Anatomie und Physiologie*, 1850. — Analyse par M. Verdet, dans les *Annales de chimie et de physique*, 3ᵉ série, t. XLIII, p. 378.

Digitized by Google

excité est représenté dans la figure, soulevé en l'air et suspendu sur de petits crochets métalliques qui sont les pôles des courants induits par lesquels il sera excité.

A côté du *levier musculaire lm*, il en est un autre tout semblable *lc*, destiné à signaler le contact par lequel sera fermé le courant électrique qui provoquera l'excitation du nerf. Ce levier, à sa base, est formé d'une pièce métallique qui communique par une borne placée au-dessous de la plaque avec un pôle d'une pile, dans la figure, c'est le pôle négatif. Le *levier-contact* est flexible à sa base; on peut, à un moment donné, faire battre contre lui une tige de cuivre *p* qui communique avec le pôle positif de la pile. Ce choc, en fermant le courant voltaïque, déviera le *levier-contact* et signalera par conséquent dans le tracé l'instant précis de la clôture du courant.

Voici comment je produis ce contact sans toucher directement à l'appareil dont un ébranlement même léger pourrait troubler les indications. Au-dessous des pièces précédemment décrites est placé dans le plan vertical un tambour métallique semblable à ceux du cardiographe. La face de ce tambour qui est visible dans la figure est fermée par une membrane de caoutchouc qui se soulève, lorsque par le tube *t* on insuffle de l'air dans le tambour. Cette membrane, en se gonflant, fait basculer la pièce métallique dont l'extrémité *p* vient frapper le levier-contact et fermer le courant. Pour produire cet effet, je me sers d'un autre tambour T′ semblable au précédent, et dont le tube *t′*, représenté rompu dans la figure, se continue avec le tube *t*. Ce second tambour étant placé à quelque distance de l'appareil, il suffit de presser brusquement sa membrane pour produire la clôture du courant et la déviation du levier qui la signale.

Au-dessous des deux leviers est une bascule en forme de T qui se lève quand on presse sur le bouton B et qui soulève ainsi les deux leviers à la fois, de façon à les empêcher de frotter sur le disque. Cette disposition permet de commencer ou d'arrêter à volonté le tracé à un moment quelconque, et par conséquent de ne recueillir au besoin que la contraction de clôture ou celle d'ouverture du courant.

Enfin, pour exciter le nerf, j'ai disposé en haut de l'appareil et sur le prolongement de l'axe que figure une double ligne ponctuée, j'ai disposé, dis-je, une pièce qui soutient en les isolant les unes des autres, les quatre extrémités de fils électriques dont les bouts contournés en crochets supportent le nerf qu'ils doivent exciter. Ces fils communiquent avec une bobine d'induction que l'on peut, au moyen d'un commutateur, mettre en rapport tantôt avec les deux excitateurs les plus rapprochés du muscle, tantôt avec ceux qui en sont le plus éloignés. (La figure représente à tort ces deux couples de crochets excitateurs beaucoup trop rapprochés l'un de l'autre; dans l'intérêt de l'expérience, il faut, au contraire, les éloigner l'un de l'autre le plus qu'il est possible.)

L'induction dans la bobine est produite par le courant voltaïque dont le levier *lc*, accuse la clôture et l'ouverture. On peut, sans crainte d'erreur, considérer comme synchrones la clôture ou la rupture du courant inducteur avec l'excitation du nerf par les courants induits qu'elles déterminent. Ceci connu, je vais, messieurs, exécuter devant vous l'expérience.

Expérience. — Je prends la grenouille la plus grosse que je puisse trouver, afin d'obtenir une longueur de nerf aussi grande que possible entre le plexus lombaire et la pénétration du nerf dans le gastrocnémien. Après avoir isolé le nerf et ruginé le fémur, je détache le tendon du gastrocnémien et décolle ce muscle dans toute sa longueur, puis je coupe la patte de la grenouille au-dessous du genou, en laissant le gastrocnémien seul adhérent au fémur. Je fais alors dans le tendon du muscle une ouverture qui sert à l'accrocher à l'extrémité du levier coudé, puis je serre le fémur dans les mors de la pince P qui le maintient fixe. Une légère traction exercée sur cette pince tend le muscle très-faiblement, mais assez toutefois pour que sa contraction agisse immédiatement sur le levier. Je place alors le nerf sur les crochets excitateurs et je vais placer les leviers sur le cylindre qui recevra leur tracé. Pour cela, je presse sur la bascule B et soulève ainsi les leviers qui ne touchent pas la surface du disque, pendant que je les mets en position, c'est-à-dire que je place leur pointe sur le prolongement d'un rayon du cercle représenté par le disque. Ceci étant fait, je laisse retomber la bascule, et les deux leviers, venant appuyer sur le verre, tracent par leurs pointes deux cercles concentriques.

Le commutateur est actuellement placé de telle sorte que le courant induit va exciter la partie du nerf la plus éloignée du muscle. Je presse sur le tambour T, le courant inducteur est fermé, et le levier-contact *lc*, dévié à gauche. Le courant induit excite le nerf, et le muscle se contracte, déviant à droite le levier musculaire *lm*. A ce moment j'arrête l'expérience, et pressant de nouveau sur le bouton B, je soulève les leviers au moyen de la bascule, et empêche la rupture du courant de compliquer ce premier tracé en produisant une nouvelle contraction du muscle.

Je passe alors à la seconde expérience, et plaçant les leviers au-dessus d'un autre point du disque, je m'apprête à y produire un nouveau tracé. Je dispose cette fois le commutateur de manière à exciter le point du nerf le plus rapproché du muscle, et je procède comme tout à l'heure. Une fois que j'ai obtenu le tracé de la contraction et le signal de la clôture du courant, j'enlève de nouveau les leviers, et l'expérience est finie.

Reste à déterminer la signification du tracé obtenu. Pour cela, je commence par déterminer la vitesse de rotation du disque, et pendant que celui-ci continue à tourner, je fais vibrer ce diapason de cinq cents vibrations simples, et j'inscris les mouvements du style que porte une des branches de ce diapason. J'arrête alors le disque et je trouve qu'il présente les tracés suivants.

La figure 130 représente, réduit au demi-diamètre, le disque enfumé et les tracés qu'il a reçus. A la circonférence du disque, vous voyez des courbes onduleuses tracées par les vibrations du diapason. Chacune de ces courbes correspond à une durée de $\frac{1}{250}$ de seconde. C'est d'après cette graduation que nous estimerons l'intervalle qui sépare l'excitation du nerf de la contraction musculaire qui la suit. — En nous rapprochant du centre du disque, nous trouvons une double ligne circulaire tracée par les pointes des deux leviers; le trait le plus extérieur appartient au *levier-contact*, le plus intérieur est tracé par le *levier musculaire*. Le moment où le courant inducteur est fermé, et conséquemment l'instant de l'excitation du nerf, est signalé par une déviation du levier contact au point C′. Ce levier trace une courbe qui se détache assez nettement de la ligne circulaire en se portant vers la circonférence. On n'a représenté que l'origine de cette courbe afin d'éviter la confusion dans la figure. (Une flèche indique le sens dans lequel tourne le disque.) A peu de distance à gauche

Digitized by Google

du point C′, on voit se détacher du cercle tracé par le levier musculaire une courbe analogue, qui, produite par la contraction du muscle, indique, par son début en M′, l'instant précis où ce mouvement prend naissance.

Pour évaluer le temps qui s'écoule entre ces deux signaux, il suffit de déterminer combien de vibrations du diapason et combien de fractions de ces vibrations sont comprises dans l'espace angulaire qui sépare les points C′ et M′. Pour cela, un fil terminé en anse est attaché à l'axe du disque, et, tendu d'autre part sur la circonférence de ce disque, il représente exactement le rayon du cercle. Faisons-le passer d'abord par le point C′, et traçons sur le disque la direction de ce rayon ; tendons maintenant le fil en le faisant passer par le point M′, et traçons ce nouveau rayon : il est bien évident que les intervalles compris entre les rayons C′ et M correspondent à des temps égaux, puisque, pour tous, la vitesse angulaire est la même. L'espace C′M′ sera donc égal en durée au nombre de vibrations du diapason comprises entre les deux rayons, c'est-à-dire qu'il correspondra à $\frac{8\frac{1}{2}}{250}$ de seconde. On mesurera de la même manière

FIG. 130.

l'intervalle qui sépare les points C′ et M′, c'est-à-dire le temps qui s'est écoulé entre l'excitation du nerf et la secousse musculaire dans la deuxième expérience, et l'on trouvera cet intervalle égal à $\frac{9}{250}$ de seconde. Or, la première expérience était faite en excitant le point du nerf le plus rapproché du muscle ; la deuxième, en excitant le point le plus éloigné ; la différence, égale à $\frac{\frac{1}{2}}{250} = \frac{1}{500}$ de seconde, représente le temps employé par le courant nerveux à parcourir la longueur du nerf qui sépare les deux points excités successivement, cette longueur est, dans le cas présent, de 4 centimètres. On en déduira facilement la vitesse absolue du courant nerveux qui, pour ce cas, serait de 20 mètres par seconde.

Cette disposition de l'expérience n'est peut-être pas la meilleure d'une manière absolue, car elle complique un peu la lecture du tracé. Celui-ci, en effet, n'est plus rapporté aux abscisses rectilignes que nous avons employées jusqu'ici, mais à des abscisses circulaires. Un autre inconvénient, c'est que le tracé recueilli sur un verre enfumé doit être effacé après chaque expérience, tandis qu'il serait très-utile de conserver les tracés obtenus pour les comparer entre eux. Si j'ai employé ce procédé, c'est uniquement pour vous montrer que l'enregistreur ordinaire peut au besoin servir à cette délicate expérience. Mais il est préférable d'employer, à la place du disque, un léger cylindre tournant, ce qui reproduit à peu près l'expérience de Helmholtz.

Sur l'axe du volant d'un régulateur de Foucault, je place ce léger cylindre enfumé, et, couchant l'instrument sur le côté, j'obtiens la rotation du cylindre autour d'un axe horizontal. J'applique sur ce cylindre les extrémités des leviers de l'appareil, et j'opère comme tout à l'heure. Après chaque expérience, je place les extrémités des leviers sur un point différent du cylindre, et je puis ainsi obtenir une série d'expériences successives. Le tracé obtenu dans ces conditions est le suivant (fig. 131) : vous y voyez les mêmes résultats que tout à l'heure, avec cette différence, qu'ils sont rapportés à des

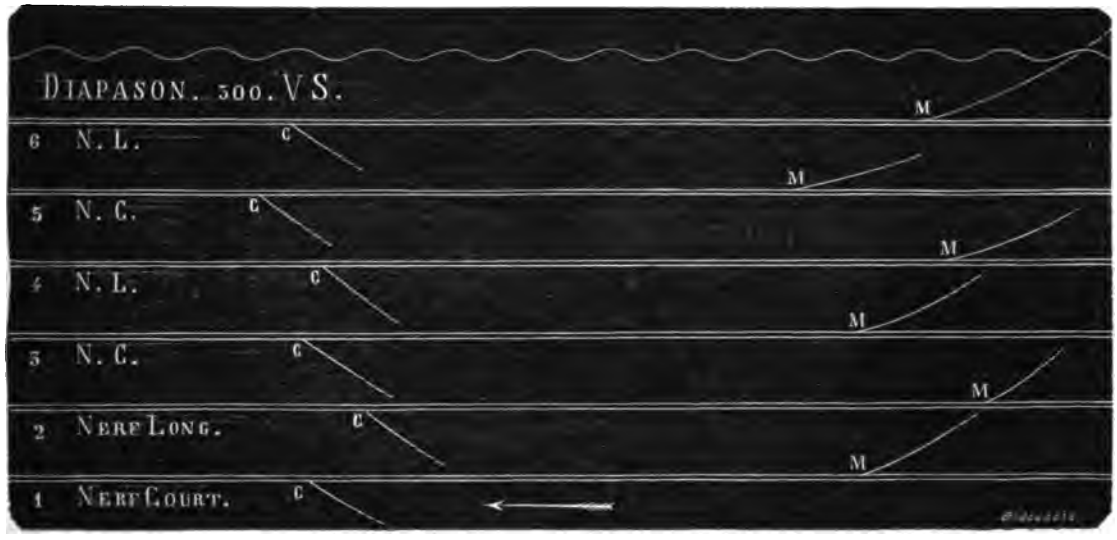


FIG. 131.

Digitized by Google

abscisses horizontales, ce qui rend la lecture plus facile.

Le point C, dans chaque expérience, exprime l'instant du contact électrique; le point M, l'instant de la secousse musculaire. La flèche, en bas de la figure, indique le sens de la rotation du cylindre.

Pour connaître l'intervalle qui sépare l'excitation du nerf de la secousse musculaire, on porte au compas chacune des longueurs CM sur la ligne du diapason.

La différence de cette longueur pour les expériences première et deuxième est d'environ $\frac{3}{4}$ d'une vibration double du diapason, soit $\frac{1}{535}$. Il en est de même pour les expériences troisième et quatrième comprises entre elle. Enfin, les expériences cinquième et sixième donnent pour différence environ $\frac{1}{550}$ de seconde. — La longueur du nerf qui sépare les deux points successivement excités est de 45 millimètres pour tous les cas.

De là peut se déduire la vitesse de transmission du courant nerveux qui est, pour les expériences première et deuxième, troisième et quatrième, de 14 mètres par seconde, et pour les expériences cinquième et sixième, de 11 mètres seulement.

De toutes ces expériences ressort un fait curieux signalé par Helmholtz : c'est que la plus grande partie du temps qui s'écoule entre l'excitation du nerf et la secousse du muscle n'est pas occupée par la transmission du courant nerveux; celle-ci, par exemple, ne dure que $\frac{1}{500}$ de seconde; mais un temps beaucoup plus long, $\frac{1}{30}$ environ de seconde, s'écoule entre le moment où le muscle doit avoir reçu l'excitation et celui où il réagit. A moins d'admettre que le courant nerveux parcoure avec une lenteur extrême la partie du nerf intramusculaire, il faut bien supposer qu'il existe entre l'excitation reçue et la secousse une *pause* ou temps perdu d'assez longue durée. On peut, du reste, constater l'existence de cette pause en excitant directement le muscle et non plus le nerf qui l'anime.

Tels sont, messieurs, les principaux faits que l'expérimentation nous apprend relativement à la vitesse de transmission de l'agent nerveux. Ils semblent, au premier abord, fort concluants; et pourtant, ces mesures que je viens de prendre moi-même devant vous me laissent encore des doutes. Peut-être partagerez-vous mon incertitude quand nous aurons comparé, au point de vue de la transmission, l'agent nerveux et le fluide électrique.

De la propagation des courants électriques comparée à celle de l'agent nerveux.— L'idée qui présida aux recherches de Helmholtz et de Valentin, semble avoir été la suivante : Il existe entre le fluide électrique et ce qu'on nomme fluide ou agent nerveux de nombreuses ressemblances, mais il semble exister aussi des différences importantes. La détermination de la vitesse du courant nerveux, comparée à celle de l'électricité, doit-elle rapprocher l'un de l'autre les fluides électriques et nerveux, doit-elle au contraire les différencier davantage?

Or, l'expérience a montré à Helmholtz que le courant nerveux semble parcourir une longueur de 24 mètres par seconde; vous venez de voir dans les expériences précédentes des vitesses encore moindres, 20, 14 et même 11 mètres, ce qui est une lenteur extrême lorsqu'on compare cet espace à celui que parcourrait l'électricité dans le même temps avec la vitesse qu'on lui assigne d'ordinaire. On a supposé en effet que la vitesse de l'électricité serait égale à celle de la lumière, et qu'elle parcourrait environ 318 000 kilomètres par seconde.

Sur ce sujet, messieurs, les idées scientifiques ont subi des modifications profondes pendant ces dernieres années surtout. Ce que l'on croyait comprendre clairement sous le nom de vitesse de l'électricité a perdu sa signification première, et n'en a plus guère aujourd'hui. En 1827, Ohm avait calculé les lois de la distribution des tensions dans un fil conducteur pendant les instants qui suivent la fermeture d'un courant électrique. Il avait vu que l'électricité se transmet comme la chaleur, c'est-à-dire qu'elle n'arrive à sa répartition définitive dans le fil métallique qu'après avoir traversé une première phase d'état variable. La comparaison de Ohm va fournir un excellent moyen de faire comprendre en quoi consiste l'état variable et l'état permanent. — Soit un barreau de fer qu'on plonge par une de ses extrémités dans de l'eau bouillante qui constitue une source constante de calorique. Ce barreau à son extrémité immergée va se mettre en équilibre de température avec l'eau bouillante, et cependant les points non immergés seront encore bien peu échauffés, ils pourront même être froids pour peu qu'on observe un point assez éloigné de la source de chaleur. Si l'on attend quelques instants, on voit que la température de la tige s'est élevée dans les points distants de la source de chaleur, et qu'il faut s'éloigner davantage de cette extrémité pour trouver une partie qui semble foide au toucher. Plus tard encore, la chaleur se sera propagée plus loin dans la barre, elle pourra même l'avoir envahie tout entière. Dans ces trois moments successifs, si l'on eût appliqué des thermomètres sur différents points du barreau, on eût vu que dans le voisinage de la source de chaleur la température a atteint dès les premiers instants le degré maximum, celui de la source de chaleur elle-même, tandis que dans les autres points les températures allaient en décroissant à mesure qu'on l'éloignait de cette source. A chaque observation successive on eût vu que la température restait fixe au point par lequel la chaleur entrait dans le barreau, et que ce qui variait c'était le niveau des thermomètres plus éloignés de la source, et la position du point où s'arrêtait l'échauffement. Enfin que, dans tous les cas, l'intensité de la chaleur décroissait à partir de l'extrémité soumise à l'action de la source de chaleur. En étudiant sur des barreaux de métal les lois de la transmission de la chaleur, Biot a vu que les thermomètres indiquaient par leurs niveaux la décroissance de la température dans les différents points du barreau; il a vu aussi que ces thermomètres, sauf le premier, donnaient d'instant en instant des indications variables. Mais, à un moment donné, au bout de trois ou quatre heures quelquefois, tous ces instruments s'arrêtaient chacun à un degré fixe, exprimant, par la pente générale de leurs niveaux, la répartition de la chaleur dans la barre, et prouvant par leur fixité qu'après son état variable la distribution du calorique avait atteint son état permanent.

Ce qui se passe dans la transmission du calorique correspond sous une forme excessivement lente aux différentes phases de la transmission de l'électricité dans un fil. Si l'une seulement des extrémités de ce fil est en rapport avec une source constante d'électricité, pendant que l'autre est en rapport avec la terre, la tension électrique s'élèvera aussitôt à son maximum dans cette première partie du fil, tandis qu'elle sera encore très-faible dans les points situés à une plus grande distance. Plus tard, les points du fil, de plus en plus éloignés, auront atteint une tension plus élevée, mais toujours infé-

Digitized by Google

rieure à celle des portions initiales. Enfin, à un moment donné, il y aura une certaine tension électrique pour chaque point du fil; la tension ira en décroissant de l'entrée à la sortie, mais, pour chaque point du fil, sera dans un état permanent.

Étant admis ce mode de transmission dans un fil, on conçoit que la tension décroissante du fluide électrique dans les points successifs du conducteur ne permettra pas de déterminer avec précision le point le plus éloigné auquel l'électricité sera parvenue. La théorie fera admettre, dès les premiers instants de la clôture du courant, l'existence d'une tension infiniment faible, même dans des points très-éloignés de l'origine du fil; mais quel moyen assez sensible emploiera-t-on pour constater l'existence de cette tension? Supposons en effet le cas d'une ligne télégraphique, un courant étant lancé dans le fil, il s'écoule un certain temps avant que le signal électro-magnétique se produise à une certaine distance. Dira-t-on que l'électricité n'a fait son apparition au poste d'arrivée qu'au moment ou le signal s'est produit? Assurément non, car on conçoit que l'action magnétique n'ait atteint le degré voulu, pour produire le signal, qu'après une certaine durée de l'état variable, pendant laquelle la tension électrique augmente d'intensité. Ces lois du transport du courant électrique sont aujourd'hui bien établies, non-seulement par les travaux de Ohm, mais aussi par les expériences récentes de M. Gaugain et de M. Guillemin. Le premier a surtout bien démontré la répartition des tensions pendant l'état permanent. Le second a déterminé avec une admirable précision les différentes phases des états variables de clôture et de rupture des courants.

Cette longue digression dans le champ de la physique était indispensable pour montrer comment on doit comprendre aujourd'hui la propagation du courant électrique et quelles conséquences devront induire relativement aux phénomènes nerveux tous ceux qui, frappés de l'analogie que présentent sur tant de points ces deux fluides, voudront pousser la comparaison jusqu'au bout.

La question se pose aujourd'hui d'une manière nouvelle. Ainsi, il est reconnu que la durée de l'état variable des courants électriques dans les fils métalliques n'est pas proportionnelle à la longueur de ces fils, mais au carré de leur longueur. Il faudra donc savoir si dans des expériences comparatives faites sur des longueurs de nerf plus ou moins grandes on trouve le retard proportionnel aux longueurs du nerf où à leurs carrés. — Enfin, il sera curieux de comparer la vitesse de transmission pour des courants de natures, de sens, d'intensités variables; pour des nerfs soumis à différentes conditions, et dont les muscles auront à vaincre des résistances plus ou moins grandes. Je ne puis, messieurs, que soulever ces questions dont la solution ne pourra être obtenue qu'au prix de longues recherches, et j'aborde les phénomènes qui se passent dans les muscles pour y produire le mouvement.

MAREY.

CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS.

CHIMIE AGRICOLE (1).

COURS DE M. BOUSSINGAULT
(de l'Institut).

Phénomènes chimiques de la digestion.

Toutes les plantes renferment les mêmes principes nutritifs, cependant toutes ne peuvent pas servir à l'alimentation. Certaines plantes contiennent un principe qui répugne, d'autres un principe vénéneux; l'aliment existe, mais il est mal associé. On peut se débarrasser de certains principes, et les Indiens n'ignorent pas ce fait, car je les ai vus placer dans un courant d'eau des sacs remplis de fruits amers, qu'ils laissaient ainsi jusqu'à ce que le goût désagréable ait disparu.

Si nous considérons les végétaux comme des aliments, nous trouvons qu'ils renferment :

1° Matières azotées.....	Albumine, fibrine, caséine.
2° Matières non azotées, digestibles...	Amidon, sucs, gommes, dextrine, pectine, acides végétaux.
3° Matières azotées non digestibles.....	Cellulose, ligneux.
4° Matières minérales.....	Phosphates basiques de chaux, sels alcalins, calcaires.

Ces principes nutritifs se retrouvent dans le lait des animaux; l'analyse a montré qu'il renfermait de l'eau, du caséum, du beurre, du sucre et des sels; c'est un aliment complet.

Les aliments que fournit le règne végétal sont rarement consommés par l'homme sans être soumis à un certain nombre de préparations. L'art culinaire est destiné à favoriser le travail de la digestion. L'aliment est une substance qui, introduite dans l'appareil digestif, doit fournir les éléments de réparation de nos tissus et les matériaux de la chaleur animale. D'après cette définition, on est conduit à diviser les aliments en *aliments plastiques*, destinés à la rénovation des tissus, dont ils rappellent la composition, les autres, *aliments de combustion*, ou *respiratoires*, réductibles par une véritable combustion en acide carbonique et en eau, à l'aide de l'oxygène introduit dans la respiration.

Aliments plastiques du règne végétal.	Aliments respiratoires du règne végétal.
Fibrine végétale ou gluten.	Amidon ou fécule.
Albumine.	Dextrine, sucre.
Caséine végétale ou légumine.	Gomme, pectine, huile.

Avant de nous occuper des phénomènes chimiques de la digestion, je vais dire quelques mots des moyens de préhension des aliments chez l'homme et chez les animaux. L'homme porte les aliments à sa bouche au moyen du membre supérieur; les aliments sont ensuite soumis à l'action des mâchoires et des dents qui les rendent plus aptes à être attaqués par les sucs digestifs. Pour la préhension des liquides la pression atmosphérique intervient la plupart du temps. Si l'on considère la bouche comme un corps de pompe, la langue agit à la manière d'un piston, un vide s'établit et le liquide est aspiré.

Chez les mammifères, l'aliment est saisit directement avec la bouche. Cependant les singes et les écureuils le prennent quelquefois à l'aide du membre supérieur. La préhension se fait tantôt avec les dents, tantôt avec les lèvres mobiles et char-

(1) Voy. les numéros 1, 2, 6, 8 11 et 15.

Digitized by Google

nues : Le cheval se distingue sous ce rapport. Les ruminants se servent de leur langue qui est très-protractile pour entourer la touffe d'herbe qu'ils broutent.

Les oiseaux se servent quelquefois de leurs pattes pour la préhension des aliments ; mais le bec est toujours le principal organe employé à cet usage ; sa forme varie suivant la nature des aliments et suivant le caractère plus ou moins carnassier de ces animaux. Les reptiles sont presque tous carnivores ; ils cherchent une proie vivante qu'ils avalent sans la diviser. Leur langue est quelquefois épaisse et charnue; mais en général elle est mince, sèche, très protractile et bifide vers le bout; les serpents et les lézards nous en offrent un exemple. Chez le caméléon la langue devient un instrument de préhension très-remarquable, car l'animal peut darder sa langue à une distance qui dépasse la longueur de son corps, et elle se termine par une espèce de pelote visqueuse à laquelle s'attachent facilement les mouches et autres insectes. Les poissons qui sont très-voraces avalent tous les petits animaux placés à leur portée, tels que vers, mouches, poissons, etc.; quelques-uns manquent de dents, mais la plupart en ont aux deux mâchoires, sur la langue et jusque dans l'arrière-bouche. Ces dents sont destinées à retenir la proie. Les insectes ne prennent souvent que des aliments liquides; ils *sucent* les sucs des plantes ou les sucs animaux; ils sont à cet effet pourvus de *suçoirs* ou trompes garnies intérieurement de lancettes.

Ceux qui prennent des aliments solides ont des mandibules pour diviser l'aliment, et des mâchoires plus ou moins compliquées. Les crustacés ont aussi des mandibules, des mâchoires et *des pattes-mâchoires*. Quelques mollusques, en particulier les céphalopodes, ont des organes masticateurs ou *mandibules*.

Mastication. — La mastication est indispensable pour les aliments tirés du règne végétal ; les enveloppes des matières nutritives que contiennent les végétaux sont réfractaires aux liquides digestifs et doivent par conséquent être brisées par les dents. La mastication qui fait défaut chez les oiseaux est suppléée par un estomac très-musculeux ou gésier. Il est évident que la régularité des fonctions digestives dépend d'une mastication complète. La salive joue un rôle important dans le phénomène de la digestion ; M. Claude Bernard a montré que chaque glande est affectée à un service spécial.

Malgré le mélange des différentes salives, leurs usages restent distincts : la *parotide* sécrète pour la mastication; la *sous-maxillaire*, pour la gustation; la glande *sublinguale* et les glandes buccales sécrètent pour la déglutition.

On a remarqué que le mucus buccal employé isolément n'a pas la propriété de saccharifier l'amidon, mais mélangé avec l'une ou l'autre sécrétion glandulaire, l'amidon est rapidement transformé en sucre.

Les aliments divisés par la mastication et humectés par la salive passent de la bouche dans le pharynx, du pharynx dans l'œsophage, et enfin de l'œsophage dans l'estomac, qui est une vaste poche musculo-membraneuse située entre l'œsophage et le duodénum. Aussitôt que l'aliment pénètre dans l'estomac le pylore se ferme et la sécrétion du *suc gastrique* commence. Ce liquide ne provient pas d'une source unique. Il existe dans l'épaisseur de la membrane muqueuse de l'estomac une multitude de glandes en tube : les unes sécrètent du suc gastrique ; les autres, du mucus. On a compté 100 à 150 glandules par millimètre carré, ce qui ferait plus de 5 millions pour toute la surface de l'estomac. Leur longueur est de 1 millimètre environ ; tandis que leur épaisseur à l'extérieur n'est que de 6 centimètres de millimètre; leur orifice n'est visible qu'au microscope.

Pendant les trois ou quatre heures que les aliments séjournent dans l'estomac, il se forme une pâte ou bouillie, nommée *chyme*, dont la nature est très-complexe si l'on fait usage d'aliments de différente nature. En effet, si l'on ouvre l'estomac d'un animal aux diverses périodes de la digestion pour en examiner le contenu, on trouve d'abord une grande quantité d'amidon non encore transformé, de la dextrine et du suc provenant de l'action de la salive sur l'amidon. On y trouve aussi les matières grasses qui ne doivent être modifiées que plus loin et les matières albuminoïdes, telles que fibrine, caséine et gluten à divers états de dissolution. On y trouve enfin les matières réfractaires à la digestion (telles que cellulose, fibres végétales, grains de fécule, fragments de tendons, etc.).

Après un certain temps, la matière poussée par les contractions de l'estomac traverse le pylore et arrive dans le duodénum où la digestion va se continuer. Le duodénum est la première portion de l'intestin grêle. Il s'étend de l'extrémité pylorique de l'estomac jusqu'à l'intestin grêle proprement dit. Arrivés dans le duodénum les aliments de nature amylacée s'y saccharifient, et ceux de nature grasse s'y émulsionnent et produisent le *chyle* sous l'action du suc pancréatique et de la bile. M. Claude Bernard a établi nettement que le suc pancréatique émulsionne les corps gras qui ne sont miscibles ni à l'eau, ni à la salive, ni au suc gastrique. Le suc pancréatique agit aussi sur les aliments féculents et sur les aliments albuminoïdes; il transforme les premiers en glycose et dissout les seconds.

La bile concourt avec le suc pancréatique à mettre les corps gras en suspension, c'est-à-dire à les émulsionner. Le chyle coloré par la bile parcourt son trajet dans l'intestin grêle où se trouvent deux systèmes de vaisseaux absorbants : le système de la veine porte et celui des vaisseaux chylifères.

Ce qui échappe à l'absorption stomacale et intestinale passe dans le gros intestin pour être expulsé sous forme de matières excrémentitielles. On peut dire que l'absorption digestive se fait sur toute l'étendue du tube digestif. Cependant il faut remarquer que c'est surtout dans l'intestin grêle que l'absorption est la plus active. On rencontre dans cette partie de l'intestin des *villosités*, véritables racines animales, molles et vasculaires, renfermant des vaisseaux séparés des liquides à absorber par une membrane qui n'a que quelques centièmes de millimètre d'épaisseur. — Henri Amaury.

Soirées scientifiques de la Sorbonne.

La série des soirées scientifiques de la Sorbonne devait s'augmenter d'une conférence de M. FERNET, sur les applications de l'électricité aux arts, fixée au vendredi 27 avril. — Cette conférence n'aura pas lieu.

Muséum d'histoire naturelle.

PHYSIQUE VÉGÉTALE. — M. GEORGES VILLE, professeur, a commencé ce cours le mardi 17 avril, à midi et demi, et le continue les mardis, jeudis et samedis suivants, à la même heure. — Il traitera de la constitution chimique des plantes et du rôle de l'atmosphère dans leur nutrition.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE NUMÉRO 22 28 AVRIL 1866

Paris, 27 avril 1866.

M. le baron Séguier a présenté lundi dernier, à l'Acamie des sciences, au nom d'un savant de Paris dont la maison vient d'être tout récemment frappée de la foudre, un exposé des faits qu'il avait eu occasion d'observer dans cette circonstance, particulièrement en ce qui concerne l'influence des tuyaux de conduite de gaz ou d'eau sur la direction que suit la foudre. Cette communication donne lieu à quelques remarques de la part de MM. Pouillet et Regnault, et M. Dumas promet que le conseil municipal de Paris s'occupera des règles qu'il y aurait lieu d'imposer à cet égard aux compagnies de gaz.

M. Milne-Edwards a présenté un travail relatif à une espèce décrite à l'île Maurice au XVIIe siècle, et qui s'est complétement éteinte depuis cette époque. M. Balard a communiqué un mémoire de M. Berthelot relatif à l'action de la chaleur sur les carbures d'hydrogène; et M. Blanchard deux études de M. le docteur Sichel sur différents insectes de l'ordre des hyménoptères. Citons, enfin, un travail de M. Bouchot sur la propagation de l'électricité dans les dissolutions salines, une brochure sur les diverses manières de mesurer la vie humaine et un mémoire présenté par M. Pouillet sur les phénomènes thermo-électriques.

M. Archibald Smith, dont nous publions aujourd'hui une conférence, est un avocat de Londres qui cultive les sciences à ses moments perdus, et s'est particulièrement occupé de la question qui fait l'objet de cette conférence. En France, chacun aime un peu trop à se renfermer dans sa profession, et ceux qui ne cherchent pas à se faire une carrière par les sciences leur accordent généralement bien peu d'attention. Il n'en est pas de même à l'étranger, surtout en Angleterre, et pour ne citer comme exemple que deux physiciens anglais, Grove était un avocat comme M. Archibald Smith, et Gassiot un marchand de la Cité. Un brasseur de Londres a élevé à ses frais un observatoire astronomique très-bien établi, où l'on a découvert huit petites planètes. Plusieurs membres de cette corporation, soit en Angleterre, soit aux États-Unis, ont fait preuve du même zèle pour les études astronomiques. A Liverpool, un brasseur, M. Lassell, et un marchand de papier ont construit un autre observatoire, dans lequel M. Lassell lui-même a eu l'honneur de découvrir un anneau intérieur de Saturne et un satellite de cette planète qui avaient échappés à Huyghens et à Herschel. A Cincinnati, en Amérique, tous les marchands de la ville, épiciers, brasseurs, boulangers, etc., se sont réunis pour élever sur une colline voisine un observatoire possédant des instruments d'une grande puissance. L'initiative de cette belle œuvre avait été prise par un homme qui est mort glorieusement, il y a quelques années, dans les rangs de l'armée fédérale pendant la guerre de la sécession, le général Mitchell. Il faut avouer que l'initiative individuelle fait rarement, en France, de ces miracles, et que nos industriels ou nos commerçants ne font pas toujours de leur fortune un emploi aussi scientifique ni aussi noble.

E. A.

INSTITUTION ROYALE DE LA GRANDE-BRETAGNE.

(Lectures du vendredi soir.)

CONFÉRENCE DE M. ARCHIBALD SMITH. F. R. S.

Sur la déviation de la boussole dans les vaisseaux de fer.

La déviation de la boussole est un sujet dont l'importance s'accroît tous les jours, à cause de la grande quantité de fer qu'on emploie actuellement dans la construction des vaisseaux, ce qui a pour conséquence d'augmenter cette déviation et l'irrégularité apparente de ses lois.

Je serai forcé, ce soir, d'omettre quelques-unes des parties les plus intéressantes et les plus importantes de ce sujet, c'est-à-dire : 1° la partie mathématique, comprenant les formules algébriques, les procédés arithmétiques et des constructions graphiques qui présentent beaucoup d'intérêt et d'utilité; et 2° les résultats numériques pour différents vaisseaux et pour différentes classes de vaisseaux, résultats qui ont été obtenus par la réduction et la discussion d'observations faites dans un grand nombre de vaisseaux de la marine royale. Je dois seulement essayer de vous expliquer les principes d'après lesquels agissent les forces qui causent la déviation, et les principes d'après lesquels les déviations produites peuvent être rame-

Digitized by Google

nées à une loi; puis enfin nous examinerons brièvement ce qui a été fait dans cette branche de la science et ce qui reste encore à faire.

Considérations générales.

Un aimant est un barreau d'acier dont les extrémités ont des propriétés contraires; on marque une des extrémités d'un N et l'autre d'un S (Nord et Sud), mais pour éviter la confusion de termes, qui ne manquerait pas de se produire, en parlant du pôle magnétique nord ou du pôle nord de l'aimant, il sera plus commode, dans cette lecture, d'appeler ces deux extrémités rouge et bleu; rouge pour l'extrémité marquée N, bleu pour l'extrémité marquée S.

Cette propriété, dont nous venons de parler, est que l'extrémité rouge d'un aimant attire l'extremité bleue, et repousse l'extrémité rouge d'un autre aimant, et *vice versâ*.

Si nous plaçons deux aimants sur une même ligne, mais à une petite distance l'un de l'autre, avec les pôles opposés tournés l'un vers l'autre, et que nous placions un barreau de fer doux dans l'espace situé entre eux, le barreau de fer doux sera magnétisé par induction, l'extrémité la plus proche du pôle bleu de l'un des aimants deviendra un pôle rouge, l'extrémité rapprochée du pôle rouge de l'autre aimant deviendra un pôle bleu. Si nous faisons tourner le barreau de fer doux sur son centre, il perdra graduellement son magnétisme, jusqu'à ce qu'il se trouve à angle droit avec la ligne de magnétisation, alors il deviendra neutre; et si nous lui faisons achever un demi-tour complet, et qu'il se trouve dans le prolongement des deux aimants, ses pôles seront le contraire de ce qu'ils étaient en premier lieu.

La terre est un aimant ayant un pôle bleu, situé par 70° de latitude nord, et 96° de longitude ouest, et un pôle rouge, situé par 75° de latitude sud, et environ 154° de longitude est.

La direction de la force magnétique est à présent à Londres comme s'il y avait un pôle bleu à 20° 1/2 à l'ouest du nord, et 68° au-dessous de l'horizon, et un pôle rouge à 20 1/2 à l'est du sud, et 68° au-dessus de l'horizon. Cette direction s'appelle la ligne de force, ou la ligne « d'inclinaison ». Si nous plaçons une barre de fer doux dans la direction de la ligne de force magnétique, cette barre devient instantanément un aimant; l'extrémité nord, ou extrémité inférieure, devient un pôle rouge, l'extrémité sud ou extrémité supérieure devient un pôle bleu. Si nous tenons la barre verticalement, l'extrémité inférieure sera encore un pôle rouge, mais aura une intensité moindre; l'extrémité supérieure sera encore un pôle bleu, mais aussi avec une intensité moindre. Si nous tenons la barre horizontalement, nord et sud, l'extrémité nord sera un pôle rouge, mais d'intensité encore moindre, l'extrémité sud sera un pôle bleu, mais aussi avec une intensité moindre. Si maintenant nous tournons la barre dans le même plan horizontal, jusqu'à ce que ses extrémités soient dirigées vers l'est et l'ouest, son magnétisme diminuera graduellement, et dans cette dernière position il sera nul, puis si nous lui faisons accomplir le tour entier, son magnétisme s'établira en sens inverse. Ces changements seront beaucoup plus considérables si, dans chaque position, nous frappons la barre à coups de marteau. Dans une barre que j'ai employée, l'effet des coups de marteau a été d'accroître la force magnétique, dans la proportion de 12 à 80, c'est-à-dire six ou sept fois. Si le fer avait été parfaitement doux, il résulte des expériences de Weber et de Thalen que l'effet eût été environ de 36.

Une sphère de fer doux sera magnétisée de la même manière, de quelque façon qu'on la tienne. Le diamètre, situé dans la ligne d'inclinaison, sera l'axe du magnétisme, et la partie nord et inférieure de la surface de cette sphère deviendra un pôle rouge, la partie sud et supérieure étant un pôle bleu.

Ces effets seront semblables dans les corps de toute autre forme, mais moins réguliers si la forme surtout est irrégulière.

Quand on rive les boulons d'un vaisseau de fer, dans le chantier de construction, on développe un magnétisme puissant dans ce vaisseau; la partie inférieure, et tournée vers le nord, devient un pôle rouge, la partie supérieure, et tournée vers le sud, devient un pôle bleu.

La place ordinaire de la boussole à bord d'un vaisseau est à l'arrière. Or, dans le cas d'un bâtiment de fer dont l'avant est tourné vers le nord, pendant la construction, la boussole se trouve dans un endroit où existe un pôle bleu intense, ce qui a pour effet d'attirer fortement vers l'arrière l'extrémité nord de la boussole; une forte déviation est alors produite et vient s'ajouter à une grande déviation produite quand le vaisseau penche de côté. Il est important, dans de semblables vaisseaux, de placer à l'avant une boussole-type.

Dans les vaisseaux construits l'avant tourné vers le sud, il y aura ordinairement une déviation moindre et peu de déviation de penchement (*heeling error*) de la boussole à sa place actuelle.

Dans les vaisseaux construits l'avant tourné vers l'est ou l'ouest, la déviation de la boussole est généralement moindre, mais est aussi moins régulière que dans les vaisseaux construits l'avant tourné vers le sud.

Représentation théorique de la déviation.

Si nous plaçons un aimant devant la boussole, et que le pôle bleu de cet aimant soit tourné vers elle, cet aimant attirera l'extrémité nord de l'aiguille aimantée vers l'avant du bâtiment. Si le vaisseau tourne, dans le premier demi-cercle, ou demi-cercle oriental, il se produira une déviation de l'extrémité nord de la boussole vers la droite, ou en autres termes, vers l'est; dans le second demi-cercle, ou demi-cercle occidental, une déviation vers la gauche, ou vers l'ouest. Ceci produirait une partie de ce qu'on appelle la déviation « demi-circulaire », c'est-à-dire la déviation produite par le magnétisme permanent de l'avant et de l'arrière du vaisseau.

Si nous plaçons verticalement une barre de fer doux devant la boussole, de telle façon que l'extrémité supérieure de cette barre soit au niveau de la boussole, cette extrémité qui deviendra un pôle bleu attirera l'extrémité nord de la boussole, et produira une déviation semblable à celle de l'aimant dont nous venons de parler. Cette barre ne fera donc qu'accroître la déviation demi-circulaire, produite par le premier aimant. Si le pôle rouge de l'aimant supposé, ou l'extrémité inférieure de la barre de fer doux est rapproché de la boussole, ou bien encore, si l'aimant ou la barre est en arrière de la boussole, il se produira un effet semblable, mais dans une direction contraire.

Un aimant placé à tribord ou à babord de la boussole produira un effet semblable; excepté toutefois qu'une des déviations sera produite, quand l'avant du vaisseau sera dans la direction du demi-cercle nord, et l'autre dans la direction du demi-cercle sud. C'est là ce qui complète la déviation demi-

Digitized by Google

circulaire, c'est-à-dire la partie de cette déviation produite par le magnétisme permanent de la partie transversale du vaisseau.

L'effet produit par les deux aimants et la barre de fer doux dont nous avons parlé constitue ce qu'on appelle la déviation demi-circulaire.

Si l'on place horizontalement une barre de fer doux devant la boussole, le bout tourné vers l'extrémité de l'aiguille aimantée, on comprendra facilement que quand l'avant du bâtiment est tourné vers le nord, l'est, le sud ou l'ouest, aucune déviation n'est produite. Mais quand la proue est tournée vers le nord-est ou le sud-ouest, cette barre produit une déviation à droite ou orientale, quand la proue est tournée vers le sud-est ou le nord-ouest, une déviation à gauche ou occidentale, c'est ce qu'on appelle la déviation de « quart de cercle » (*quadrantal deviation*).

Une barre de fer doux horizontale, l'extrémité dirigée vers la boussole, mais placée à tribord ou à babord, produirait un effet exactement contraire, et corrigerait la déviation produite par la première barre; mais si la seconde barre, au lieu d'être à côté, passe pour ainsi dire à travers la boussole, elle produira exactement le même effet que la première barre. Les deux barres contribueront donc à produire la déviation de quart de cercle.

Si la première barre, au lieu d'être à côté de la boussole, passe à travers, elle produira une déviation de quart de cercle semblable, pourvu toutefois que la force en soit moindre que celle de la barre transversale.

Dans presque tous les vaisseaux connus, la déviation de quart de cercle ressemble à celle qui serait produite par deux barres semblables à celles dont nous venons de parler.

Il y a entre ces deux types supposés une importante différence que l'on comprendra facilement. Le second type diminuerait toujours la force directrice de l'aiguille aimantée, tandis que le premier type accroîtrait ou diminuerait cette force, selon que la force des barres d'avant et d'arrière serait plus grande ou moindre que celle de la barre transversale.

Quand le vaisseau donne la bande (penche de côté), une autre source d'erreur s'introduit. On pourrait représenter cette déviation par deux types. Le premier formé d'une barre de fer doux horizontale, placée au-dessous de la boussole, et d'une barre verticale placé aussi au-dessous; le second d'une barre horizontale, placée au-dessous de la boussole, et d'une barre verticale se prolongeant à travers la boussole.

On comprendra facilement que quand le vaisseau donne la bande, l'extrémité supérieure de la barre transversale devient un pôle bleu et attire au vent l'extrémité nord de l'aiguille aimantée; en outre, l'extrémité supérieure de la barre verticale, placée au-dessous de la boussole, dans le premier type, est attirée au vent par l'effet du mouvement de côté des vaisseaux et attire aussi au vent l'extrémité nord de l'aiguille aimantée, accroissant ainsi l' « erreur de penchement » (*heeling error*) causée par la barre transversale. Dans le second type, au contraire, cette barre est attirée sous le vent et neutralise l'erreur de penchement causée par le fer transversal.

Les boussoles placées sur le pont supérieur des vaisseaux de fer, surtout s'ils ont été construits l'avant tourné vers le nord, ressemblent au premier type et sont affectées ordinairement d'une erreur considérable de penchement du côté du vent. Les boussoles placées sur le pont inférieur, principalement dans les vaisseaux cuirassés, appartiennent au second type, et l'erreur de penchement se produit souvent sous le vent.

Le montant d'erreur, dans chaque cas, peut être facilement déterminé en observant la force verticale, et en séparant les deux parties de la déviation de « quart de cercle » (*quadrantal*) sans faire donner la bande au vaisseau.

Il ne faut pas regarder les aimants et les barres de fer doux verticales que nous avons supposés, comme de simples cas possibles; ils représentent véritablement la position dans laquelle se trouvent tous les vaisseaux. C'est là, en un mot, l'interprétation physique des formules générales de Poisson, pour l'action du magnétisme induit. Si nous interprétons ces formules, nous verrons que l'effet produit par le fer d'un corps, quelque irrégulier qu'il soit, sur une particule magnétique, est le même que celui produit par neuf barres de fer doux et trois aimants. Quand le fer est symétriquement distribué, comme dans un vaisseau, le nombre des barres est réduit à cinq, c'est-à-dire, les quatre que nous avons examinées, et une cinquième placée à l'avant et à l'arrière, avec une de ses extrémités au-dessous de la boussole; cette dernière augmenterait ou diminuerait l' « erreur de penchement » (*heeling error*) selon que le vaisseau a l'avant tourné vers le nord ou vers le sud, mais c'est là un effet qui n'a pas beaucoup d'importance.

Effet dans certains vaisseaux.

Dans les vaisseaux de bois, la déviation demi-circulaire est représentée par l'effet d'une seule barre verticale de fer doux placée devant la boussole; la déviation de quart de cercle dans ces vaisseaux est très-faible.

Dans les vaisseaux de fer, la déviation demi-circulaire est ordinairement représentée par l'effet d'un aimant placé à la partie du vaisseau tournée vers le sud au moment de la construction, le pôle bleu de cet aimant étant dirigé vers la boussole.

Les vaisseaux cuirassés reçoivent ordinairement leur armure après le lancement. La position dans laquelle ils se trouvent quand ils reçoivent leur cuirasse affecte beaucoup le magnétisme demi-circulaire : s'ils sont cuirassés dans une direction contraire à celle qu'ils avaient pendant leur construction, la déviation est de beaucoup diminuée; quand, au contraire, ils sont cuirassés en occupant la même direction que celle de leur construction, la déviation demi-circulaire est ordinairement augmentée.

La déviation change avec le temps.

Ce que nous avons appelé le magnétisme permanent n'est, en somme, qu'un magnétisme sous-permanent, et change beaucoup, principalement si le vaisseau est exposé à des coups ou à des efforts, de telle sorte que la déviation demi-circulaire change beaucoup ordinairement pendant la première année après la construction. Ce changement est d'ordinaire une diminution, quoique ce puisse être augmentation, si la boussole a, par accident ou par choix, été placée dans une position où la déviation demi-circulaire produite par le magnétisme induit contrebalançait exactement celle produite par le magnétisme permanent.

En conséquence de ce changement, le gouvernement a, sur la recommandation du chef du bureau des boussoles, ordonné

Digitized by Google

qu'aucun vaisseau de fer ne serait employé comme transport jusqu'à ce qu'il ait fait un long voyage.

L'aptitude du fer doux à recevoir le magnétisme par induction est sujette à des changements remarquables, ce qui doit indiquer quelque changement moléculaire dans le fer, c'est-à-dire qu'il devient moins susceptible d'induction au bout d'un certain temps. L'effet de ce changement sur la force du fer est un des problèmes les plus importants qu'on étudie dans ce moment.

Changement de déviation résultant d'un changement de contrée.

Quand un vaisseau, se dirigeant vers le sud, atteint l'équateur magnétique, le magnétisme terrestre agit horizontalement. La barre de fer doux verticale que j'ai supposée n'a plus alors de magnétisme, et la déviation demi-circulaire qui en provient disparaît. Quand le vaisseau entre dans les latitudes magnétiques sud, l'extrémité supérieure de la barre devient un pôle rouge et repousse l'extrémité nord de l'aiguille aimantée et change la direction du magnétisme demi-circulaire.

Il n'y a pas de changement correspondant dans le magnétisme demi-circulaire produit par le magnétisme permanent, si ce n'est qu'auprès de l'équateur magnétique la force directrice du magnétisme terrestre étant plus forte qu'en Angleterre, le montant de déviation produit par la force qui n'a pas varié sera proportionnellement diminué

Il serait très à désirer qu'on pût avoir des observations, faites avec soin, sur les changements de déviation qui ont lieu sur les vaisseaux de fer dans les différentes latitudes. Ces observations se font à bord de quelques vaisseaux de la marine royale dans l'hémisphère austral, mais il est impossible de se procurer des observations faites à bord des navires marchands. La situation géographique du vaisseau ne produit aucun changement dans la déviation de quart de cercle (*quadrantal deviation*).

Effets d'un arrangement spécial du fer.

Les extrémités supérieures ou inférieures de toutes les masses verticales de fer produisent des effets puissants sur la boussole.

L'étambot, les épontilles de fer, les cheminées, les tourelles, produisent ordinairement des déviations considérables; mais si l'on choisit judicieusement la place de la boussole, tous ces objets peuvent servir à corriger les déviations.

Les masses horizontales, telles que les poutres du pont, produisent un grand effet, accroissant d'ordinaire la déviation de quart de cercle et diminuant la force directrice. On peut diminuer les deux causes d'erreur en plaçant aussi peu de fer que possible au-dessous de la boussole ou à l'intérieur d'un cône indiqué par une ligne faisant un angle de 54° 45′, avec une autre ligne passant verticalement par le centre de la boussole.

Histoire de la science.

Ce que nous avons dit rendra intelligible un court exposé de l'histoire de la science.

Le capitaine Flinders, dans son voyage en Australie, au commencement de ce siècle, fut frappé par ce fait que l'extrémité nord de la boussole était attirée vers la proue dans les latitudes boréales et vers la poupe dans les latitudes australes. Avec une grande sagacité, il compara cette attraction à l'effet produit par une barre de fer doux verticale, et la corrigea en plaçant cette barre à l'arrière de la boussole.

Les voyages de Ross et de Parry à la baie de Baffin, expéditions auxquelles le général, alors capitaine, Sabine était attaché en qualité d'astronome, attirèrent de nouveau l'attention sur ce sujet. On remarqua des déviations considérables dans les hautes latitudes; ces déviations furent observées et discutées avec soin.

Les observations faites pendant ces voyages attirèrent l'attention du grand mathématicien français Poisson qui, dans ses mémoires sur le magnétisme, publiés en 1824, donna le premier les formules générales pour l'effet du fer, formules dont nous avons déjà parlé, et les appliqua, avec beaucoup de succès, aux observations faites pendant ces voyages.

Vers 1840, l'amirauté anglaise, sur le rapport d'une commission d'officiers, qui comptait au nombre de ses membres le général Sabine, sir J. Ross et feu le capitaine Johnson, adopta le système, suivi depuis dans la marine royale, d'avoir une boussole-type, distincte de la boussole du gouvernail, placée dans une position choisie, non pas pour la commodité du timonier, mais pour la quantité uniforme de force magnétique qui s'exerçait autour d'elle. Elle ordonna, en outre, qu'on observât avec soin les déviations de la boussole en faisant virer de bord le vaisseau, et que les déviations de chaque vaisseau fussent inscrites dans des registres *ad hoc*. De plus, elle nomma un officier dont le seul, ou tout au moins le principal devoir, fut de contrôler les boussoles. Ce poste, rempli d'abord par le capitaine Johnson, et, depuis sa mort, par le capitaine Evans, a été la cause de plus grand progrès dans la science que toute autre chose. Aucun vaisseau de la marine royale ne s'est jamais perdu par suite d'erreurs de la boussole, et l'histoire magnétique de chaque vaisseau est si bien connue que, si un vaisseau venait à se perdre, il n'y aurait aucune difficulté à indiquer les causes d'erreurs qui auraient pu causer cette perte.

Le gouvernement appela, en outre, l'attention de M. Airy, l'astronome royal, sur la question de la déviation de la boussole dans les vaisseaux de fer. M. Airy proposa de corriger la déviation demi-circulaire au moyen d'aimants, et de corriger la déviation de quart de cercle au moyen de cylindres de fer doux, analogues aux barres de fer doux que nous avons supposées. Ces moyens, indiqués par M. Airy, ont été généralement adoptés dans la marine marchande.

En 1856, la commission des boussoles, à Liverpool, commença ces travaux qui, principalement exécutés par le savant secrétaire de la commission, M. Rundell, ont donné lieu à trois rapports qui ont beaucoup contribué à l'avancement de la science. Ces travaux sont malheureusement interrompus.

Pratique dans la marine royale.

Dans la marine royale, comme nous l'avons déjà dit, chaque vaisseau porte une boussole-type, placée dans un endroit choisi avec soin. On fait virer de bord le vaisseau, et l'on observe les déviations dans un certain nombre de positions, soit en comparant la boussole du bâtiment avec une boussole placée à terre, soit en observant un corps céleste ou un objet éloigné. On obtient ainsi une table de déviations et au moyen de cette table, on calcule les coefficients de la dévia-

Digitized by Google

tion demi-circulaire et de la déviation de quart de cercle.

On observe aussi la force horizontale et la force verticale, et l'on en déduit l'erreur de penchement; si cette erreur est considérable on la corrige au moyen d'un aimant vertical.

Ces procédés sont minutieusement décrits avec toutes les formules mathématiques, et tous les calculs arithmétiques, ainsi qu'un grand nombre de méthodes graphiques, dans le *Manuel de l'amirauté*, sur les déviations de la boussole causées par le fer d'un vaisseau. Ce manuel a été publié à Londres par Potter, en 1863.

Pratique dans la marine marchande.

Pour la marine marchande, il n'y a pas d'officiers spécialement chargés d'ajuster les boussoles. On laisse ce soin à des ajusteurs de profession. Dans bien des cas, il n'y a pas de boussole-type spéciale, et l'on se sert de la boussole du gouvernail pour naviguer le vaisseau. Cette boussole est souvent placée si près de l'étambot et des chaînes du gouvernail qu'elle est sujette, tout d'abord, à des déviations très-considérables et très-irrégulières. On les corrige au moyen de puissants aimants. La conséquence de cette correction est que le moindre changement dans le magnétisme du vaisseau produit des erreurs considérables, erreurs d'autant plus dangereuses que le capitaine croit que sa boussole est parfaitement corrigée.

Ce grand désavantage de l'emploi exagéré de la correction au moyen d'aimants n'est qu'un abus d'une méthode excellente.

Desiderata.

1° Marine royale.

La seule chose à désirer semble être qu'on apporte plus d'attention dans la préparation d'une place pour la boussole-type, et dans la position du vaisseau lors de la construction et de la pose de la cuirasse.

La position de la boussole-type devrait être indiquée dans les dessins de chaque vaisseau, et avant que cette position ne soit définitivement arrêtée, on devrait soumettre ces dessins aux observations et aux suggestions du chef du bureau des boussoles. Les vaisseaux devraient être construits, autant que possible, la proue tournée vers le sud, et pour recevoir leur cuirasse devraient être tournés dans la direction contraire.

Le chef actuel du bureau des boussoles a soumis à l'amirauté un rapport remarquable sur divers points importants, et nous avons tout lieu d'espérer que ses suggestions seront adoptées et produiront de grands progrès.

Quelques vaisseaux de la marine impériale russe, dans lesquels, grâce aux dispositions prises par le capitaine Belavenetz, les déviations ont été de beaucoup réduite, sont la preuve de ce que l'on peut faire sous ce rapport.

2° Marine marchande.

C'est là une question bien plus difficile, car il n'y a aucun centre, aucun moyen d'établir un système uniforme, aucune possibilité de recevoir, d'enregistrer, de discuter les observations faites.

Jusqu'à ce que quelque changement ait été fait, il n'y a pas lieu d'espérer beaucoup de progrès, ou que les vaisseaux marchands contribuent, en quoi que ce soit, à l'avancement de la science.

Il serait à désirer que :

1° Dans tous les vaisseaux de fer à vapeur, affectés au transport des passagers, il y ait une boussole-type, distincte de la boussole ordinaire, et placée dans une position telle qu'elle soit sujette à la moindre et à la plus uniforme déviation.

2° Que les déviations de la boussole-type soient observées, enregistrées et envoyées à un agent du gouvernement.

3° Que ces déviations soient enregistrées avec soin, calculées et discutées par un officier spécial.

On pourrait espérer bien des progrès, si, sous ce rapport, les vaisseaux marchands étaient assujettis aux mêmes règlements que les vaisseaux de la marine royale.

Pays étrangers.

Le *Manuel de l'amirauté* a été traduit, avec plus ou moins de modifications et sous certains rapports avec améliorations, en français, par M. Darondeau; en russe, par le capitaine Belavenetz, et en allemand par le docteur Shaub, attaché au service hydrographique de l'Autriche. Le zèle du capitaine Belavenetz, et par-dessus tout le choix d'un officier si plein d'énergie et de talent comme chef de cette branche de la science nautique, a déjà produit et produit tous les jours, en Russie, les résultats les plus importants. Je ne sache pas que, dans la marine française, il y ait un officier spécialement chargé de ce soin. Aussi ne pouvons-nous pas nous attendre à ce que les compatriotes du grand géomètre qui a jeté les fondements de la science de la déviation de la boussole lui fassent faire actuellement de grands progrès.

Traduit, sur le texte et avec l'approbation de M. ARCHIBALD SMITH, par E. BARBIER.

MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE.

ZOOLOGIE

(Annélides, Mollusques, Zoophytes).

COURS DE M. LACAZE-DUTHIERS.

IV

De Blainville.

Le premier professeur qui occupa la chaire des Mollusques, Annélides et Zoophytes, fut de Lamarck, le second fut de Blainville.

Mais en prenant la succession de Lamarck, Blainville trouva une modification apportée dans la distribution de l'enseignement, modification qu'il est bon de faire connaître.

Dans le principe, l'enseignement de la zoologie avait eu surtout pour but l'étude des animaux supérieurs. C'est suivant cette idée que fut primitivement organisé l'enseignement auquel se rattachent les noms de Buffon et de Daubenton. Plus tard quand, en 1793, la Convention, voulant faire disparaître tout ce qu'avait fait la royauté, réorganisa le Jardin du roi et lui donna le nom de Muséum d'histoire naturelle, on partagea l'enseignement entre deux chaires, celle des animaux Vertébrés et celle des Invertébrés. Bientôt après, la chaire des Vertébrés fut elle-même dédoublée : les Mammifères et les Oiseaux d'une part, les Poissons et les Reptiles de l'autre, telle fut la division nouvelle.

De Lamarck avait été chargé de l'histoire des Invertébrés :

(1) Voyez les numéros 16, 18 et 19.

Digitized by Google

tant qu'il vécut il eut à supporter tout le poids de ce vaste enseignement. On avait subdivisé les Vertébrés, c'est-à-dire le groupe le moins considérable et le moins nombreux; les Invertébrés formèrent longtemps encore un programme d'enseignement confié à un seul homme. Mais la connaissance des animaux inférieurs fit de si rapides progrès entre les mains de celui qui les étudia réellement le premier, que l'on reconnut bientôt la nécessité de partager la chaire. De Lamarck, dont la vue s'affaiblissait et à qui l'âge commençait à ôter de ses forces, se fit suppléer dans l'enseignement des Articulés par M. l'abbé Latreille, et quand arriva sa mort, en 1829, le progrès qu'il avait préparé s'accomplit. La chaire des animaux Articulés fut laissée à Latreille; l'autre chaire, constituée telle qu'elle est aujourd'hui, fut confiée à de Blainville.

Ceci est un nouvel exemple à l'appui de cette vérité, que tout naturellement on considère comme étant moins important ce qui est moins connu. Il y a des hommes de science, — il va sans dire que ce ne sont pas des zoologistes, — qui partagent en quelque sorte le règne animal suivant la taille ou la grandeur des êtres, et semblent même juger la valeur des travaux d'après la grosseur des animaux sur lesquels ils sont faits.

Cette remarque peut s'appliquer aux faits qui viennent d'être relatés. En effet, longtemps abandonnés par les naturalistes, les derniers degrés de l'échelle animale, dès qu'ils sont étudiés, acquièrent une importance étonnante. Au fur et à mesure qu'on les connaît mieux, l'intérêt de leur étude augmente, et l'on s'aperçoit bientôt qu'un seul homme chargé de l'enseignement des Articulés, des Mollusques et des Zoophytes se trouve en face d'un travail trop considérable. Lorsque de Lamarck étudiait avec son rare esprit d'observation les animaux sans vertèbres, quand il faisait connaître les caractères extérieurs et la position zoologique des nombreuses espèces des collections confiées à ses soins, il démontrait par cela même, comme conséquence forcée des progrès de la science, l'utilité d'une deuxième chaire, qui ne put manquer d'être créée à sa mort.

Depuis cette époque aucun changement n'est survenu dans la disposition de l'enseignement; il est pourtant possible d'entrevoir le moment où il sera certainement nécessaire de dédoubler partiellement les deux chaires actuelles; les Insectes, les Arachnides et les Myriapodes devraient former à eux seuls une chaire nouvelle d'Entomologie; les Crustacés, les Annélides et les Helminthes pourraient être réunis sous les noms de Carcinologie et d'Helminthologie; enfin, l'étude des Mollusques et des Zoophytes suffirait à une chaire de Malacologie et Zoophytologie.

Les progrès accomplis dans la connaissance des animaux inférieurs nécessiteront un jour cette modification nouvelle, car la science fait de rapides progrès, les efforts des naturalistes semblant dirigés de nos jours d'une manière spéciale vers ces animaux inférieurs; et comme les découvertes se multiplient sans cesse, l'étendue du champ d'observation s'accroît avec elles.

De Blainville succéda à de Lamarck non sans quelque difficulté. Longtemps avant sa mort, de Lamarck s'était trouvé dans l'impossibilité de professer. Nous venons de voir qu'il avait alors appelé Latreille à le suppléer. Mais Latreille lui-même était vieux, et l'enseignement devenait pour lui presque une charge. On connaît les paroles qu'il prononça lors de sa nomination : « On me donne du pain, dit-il, quand » je n'ai plus de dents pour le manger. »

Ce fut dans ces circonstances, que de Blainville demanda à de Lamarck sa suppléance, et comme ses démarches n'amenaient pas le résultat qu'il désirait, il lui écrivit une lettre violente dans laquelle il accusait vivement un homme illustre de s'opposer à ses projets :

« Je pouvais croire, dit-il, que votre bienveillance et votre » équité pourraient être éclairées par la considération qu'un » parti très-puissant, composé de M. Cuvier, travaille avec » ardeur, par haine contre moi, à m'empêcher d'entrer au » Muséum. »

Plus loin : « Comment se fait-il, mon cher maître, que vous » sembliez donner la main à l'injustice haineuse qui me » poursuit. »

Et il ne craint pas d'ajouter que « l'énergie seule des » membres indépendants de l'Académie a pu le faire arriver » dans son sein, contre les intrigues calomnieuses de M. Cuvier.

» Je me suis adressé à M. Latreille, mais j'avais été adroi- » tement prévenu par M. Cuvier que je suis habitué à rencon- » trer partout comme obstacle. »

Ces lignes sont empruntées à M. Nicard, qui, on le sait, était tout dévoué à de Blainville, et qui a écrit une notice entièrement destinée à faire son éloge. M. Lacaze-Duthiers les a citées, au début de cette étude, parce qu'elles placent tout de suite sur le véritable terrain où l'on doit se tenir pour bien juger et apprécier de Blainville.

Il est en effet des hommes dont l'histoire ne peut être faite isolément, indépendamment de certaines relations. Parler de Blainville sans parler de Cuvier est chose à peu près impossible. Il y eut entre ces deux hommes une divergence, une opposition si grande d'idées et d'opinions, qu'on ne peut en vérité développer l'histoire scientifique de l'un sans toucher à l'histoire de l'autre.

On a diversement interprété cette lutte et cette rivalité qui dura si longtemps. On en a cherché la cause en quelque sorte de parti pris, afin de donner nécessairement raison, soit à Cuvier, soit à de Blainville, suivant que l'on était partisan de l'un ou de l'autre. C'est ainsi que plusieurs ont exagéré les torts de Blainville, tandis que d'autres semblent les avoir reportés en grande partie sur Cuvier.

Maintenant que nous sommes déjà loin de l'époque où cette rivalité séparait ces deux grands naturalistes, nous pouvons avec plus de sûreté nous enquérir des motifs de cette lutte, car nous pouvons juger sans prévention et sans passion. On trouve dans les Maximes de la Rochefoucauld cette idée pleine de justesse : « La fortune se sert quelquefois de nos défauts » pour nous élever. » Cette vérité s'applique avec la plus grande raison à de Blainville. Ses amis, — il en avait de très-dévoués, car son caractère entier et absolu ne souffrait pas les justes milieux; s'il avait éloigné quelques-uns de ceux qui l'approchaient, il lui avait aussi gagné des dévouements sincères et de vives amitiés, — ses amis, disons-nous, avouent qu'il aimait un peu trop la controverse. M. Lacaze-Duthiers ne voudrait pas dire que, en s'abandonnant à ce penchant naturel de son caractère, il cherchât de parti pris à toujours contrecarrer Cuvier, mais il croit qu'on peut au moins penser qu'il éprouvait une certaine satisfaction à en rencontrer l'occasion.

Peut-être alla-t-il parfois trop loin, et dépassa-t-il dans ses discussions avec Cuvier les bornes de la justice ; mais on doit

Digitized by Google

reconnaître avec Vauvenargues, « qu'il faut permettre aux » hommes de faire de grandes fautes contre eux-mêmes, pour » éviter un plus grand mal, la servitude ».

De Blainville, en effet, avait au plus haut degré l'amour de l'indépendance; d'un autre côté, il aimait beaucoup la controverse et soutenait la discussion avec passion. Dès lors il devait lui être difficile de vivre longtemps en bonne intelligence avec un homme qui aimait à dominer dans les grandes questions de la science, et qui était habitué à recueillir autour de lui des marques respectueuses de condescendance. Cuvier, dont la supériorité était reconnue de tous, qui dirigeait en maître les réformes de la zoologie, devait porter, par sa position même, à la discussion et à la controverse, l'esprit indépendant et fier de de Blainville.

C'est donc peut-être contre la servitude, pour employer l'expression de Vauvenargues, ou plutôt contre la crainte de la servitude, que voulut lutter de Blainville; et c'est pour cela qu'il saisit toutes les occasions de combattre les idées de Cuvier, sinon de parti pris, au moins avec satisfaction, quand cela était possible.

Cependant, entre ces deux hommes avaient quelque temps existé les rapports les plus amicaux. Un refroidissement ne tarda pas à se produire dans leurs relations, et il conduisit au moins de Blainville à une véritable guerre déclarée. On a vu, par le fragment de lettre que nous avons cité, en quels termes de Blainville parlait alors de Cuvier. De son côté, celui-ci caractérisait son adversaire par une phrase que M. Flourens a reproduite dans son éloge historique : « Demandez à M. de » Blainville son opinion sur quoi que ce soit, ou même dites- » lui bonjour, il vous répondra : Non. »

On peut facilement établir la position respective des deux savants.

L'un est toujours sur la défensive, il se méfie de celui qu'il croit être son ennemi. Il craint d'être subjugué, disons le mot, d'être exploité. De Blainville est chargé d'une mission en Angleterre, il en rapporte de nombreux matériaux, des dessins et des notes, et il répond à Cuvier, qui à son retour lui en demande communication : « Pour qu'ils soient plus aisément » à votre disposition, je vais les publier. » On ne tient pas un pareil langage à une personne en qui l'on a toute confiance.

Il semble que Cuvier, de son côté, habitué à voir son autorité reconnue sans contestation par tous les naturalistes, craigne un instant de s'aliéner un homme ardent et vif; il le ménage et paraît vouloir éviter une rupture. Mais on a pu dire aussi qu'il redoutait de le voir entrer au Muséum, dans un établissement où son influence incontestée et incontestable imprimait à la marche de la science une direction souveraine. Les énergiques réclamations de de Blainville nous montrent même que Cuvier s'opposait à sa candidature.

Il importait de se faire tout d'abord une idée juste des relations qui existèrent un moment entre de Blainville et Cuvier, cette grande personnification de la zoologie en France et au Muséum. Car il faut tenir compte de ces rivalités si l'on veut justement apprécier et comprendre le sens et la valeur des travaux de Blainville.

Entre de Blainville et de Lamarck, son prédécesseur, il y a des analogies et des différences dans leur histoire comme dans leurs travaux.

L'un et l'autre étaient des cadets de famille, destinés l'un aux ordres, l'autre à la carrière des armes. Tous deux abandonnèrent la voie dans laquelle on les avait dirigés, et tous deux demandèrent à la médecine un moyen d'existence, alors qu'ils étaient déjà plus âgés qu'on ne l'est d'ordinaire quand on se livre à ce genre d'études.

Bientôt de Lamarck débute par un ouvrage de grande précision, qu'il prépare avec une patience et une sagesse qu'on ne trouve peut-être plus toujours dans ses derniers ouvrages.

De Blainville, avec une fougue que rien n'arrêtait, se jette dans l'étude, et Cuvier, son ennemi plus tard, lui fournit les premières facilités de travail, le dirige dans ses premiers essais. Comme de Lamarck il aborde les plus grandes questions de la zoologie.

Mais de Blainville prend son point de départ dans les études anatomiques. Les détails conviennent moins à son intelligence qu'à l'esprit de de Lamarck, et ses ouvrages sont moins spéciaux quant aux déterminations.

De Lamarck, au contraire, part d'idées générales, de conceptions métaphysiques d'un ordre élevé, et arrive aux conséquences les plus inattendues. Mais à côté de cet amour des généralités et de la philosophie, il y a en lui un esprit précis et éminemment positif qui se montre surtout dans le livre auquel il dut ses premiers succès, dans l'observation et la description des types naturels qu'il a fait connaître.

Le nombre des écrits de Blainville est très-considérable. Une notice publiée sur ce célèbre zoologiste en fixe le nombre à cent quatre-vingt-un, dont quelques-uns sont des ouvrages de plusieurs volumes. Il ne nous est permis que de prendre une idée générale de son œuvre; le temps que nous devons consacrer à cette étude nous interdit d'entrer dans un examen détaillé. Mais nous pouvons au moins faire remarquer qu'il y a, quoi qu'on en ait dit, dans les sujets d'études de de Blainville, une concordance frappante avec ce qu'avait fait Cuvier. On peut prendre un travail quelconque de Cuvier, et l'on est presque sûr de trouver un travail correspondant de de Blainville. Il est possible qu'étant tous deux zoologistes, ils aient été amenés nécessairement et sans intention de la part de l'un ou de l'autre, à se livrer au même genre de recherches, à étudier les mêmes questions; mais il faut avouer que la coïncidence est parfaite, et qu'il semble au premier abord qu'il y ait eu dessein bien arrêté de travailler les mêmes objets, pour arriver le plus souvent à un résultat opposé. C'est du moins ce qui semblerait ressortir du parallèle suivant.

Cuvier publie ses Mémoires sur les Mollusques; de Blainville fait de son côté des monographies qu'il réunit dans son *Manuel de malacologie*.

Cuvier, dans son *Règne animal*, combat l'idée de la série; de Blainville travaille à la démontrer, et cette pensée se retrouve dans ses différents travaux, comme un résultat important qu'il faut atteindre et auquel tout doit concourir.

Cuvier étudie les Zoophytes; de Blainville écrit son *Manuel de Zoophytologie* et d'*Actinologie*.

Cuvier conçoit et veut démontrer la théorie des révolutions successives du globe; de Blainville veut une création unique, sortie d'un seul jet des mains du Créateur.

Cuvier publie ses *Mémoires sur les ossements fossiles*, pose les lois qui permettent de reconstruire en quelque sorte les grands animaux perdus; de Blainville écrit son *Ostéographie*.

Enfin, tous deux ont publié une *Anatomie comparée*.

De Blainville semble donc, de parti pris, marcher parallèle-

Digitized by Google

ment dans ses travaux, et de cette similitude de recherches résultent presque toujours la contradiction et la controverse.

Il est possible, comme les amis de de Blainville l'ont soutenu, qu'il n'ait pas voulu faire de l'opposition systématique; mais il faut avouer que c'est une singulière coïncidence, de voir deux naturalistes rivaux s'occuper des mêmes objets et arriver à des résultats tout différents. La vérité était évidemment d'un côté ou de l'autre, et l'on doit s'étonner que deux hommes d'une si grande intelligence ne soient presque jamais arrivés à la découvrir d'un commun accord.

De Blainville conservait dans ses relations particulières une grande franchise de langage toujours très-accentuée quand il professait. C'est avec vigueur qu'il soutenait ses opinions et défendait sa manière de voir. Mais quand, dans ses leçons, les noms de Georges et de Frédéric Cuvier se présentaient, de Blainville s'animait, et sa critique prenait une tournure particulière qui ne manquait jamais de captiver son auditoire.

Dans ces critiques, Cuvier avait-il toujours tort, Blainville toujours raison? On doit bien se garder de trancher cette question. Mais il y a certainement un reproche à faire à de Blainville.

En effet, dans ses classifications, qu'il changeait à chaque instant, — et en cela il avait raison puisqu'il en cherchait le perfectionnement continuel, — il donnait des noms nouveaux à des choses déjà connues sous des noms bien établis. Il semble que, ne pouvant absolument nier les coupes naturelles faites par Cuvier, il ait voulu au moins attacher à ces divisions quelque chose qui lui appartînt, en les désignant d'une façon différente. C'est ainsi qu'il appelait *Cephalea* les Céphalopodes de Cuvier, *Cephalidea* ses Gastéropodes, *Acephalophora* ses Acéphales. Des Mammifères il faisait les *Pilifères*, et désignait les Oiseaux sous le nom de *Pennifères*. Mais ces changements de mots ne pouvaient être d'aucune utilité dans la science; aussi la plupart sont-ils restés dans l'oubli, et l'on doit se demander si, dans ces désignations nouvelles, il y avait autre chose que l'envie d'accepter le moins possible l'œuvre de Cuvier.

Le fait capital qui semble diriger Blainville dans tous ses travaux, auxquels il semble vouloir faire concourir ses doctrines diverses, c'est la démonstration de la série animale. C'est une sorte de parti pris sous lequel il fait plier toutes ses découvertes et ses observations. Pour démontrer que tous les animaux reliés entre eux par des modifications insensibles forment en réalité une série, une chaîne non interrompue, il demande des preuves à presque toutes les connaissances humaines, à l'anatomie comparée, à la paléontologie, à la zoologie proprement dite, à la philosophie, à la religion même.

Une méthode préférée le guidait dans ses recherches. Il s'attachait d'abord à concevoir à priori. Quand un raisonnement l'avait conduit à supposer vrai un fait quelconque, il l'affirmait, encore incertain sur la manière de le prouver; puis il le démontrait à posteriori. Il appelait à son aide, pour cette démonstration, les observations directes, parfois des rapprochements éloignés, et arrivait le plus souvent de cette façon à la conclusion désirée. Mais cette méthode est dangereuse, très-dangereuse même. Il faut, en effet, bien du courage, il faut, pour ainsi dire, n'être pas homme, pour se résoudre à abandonner une première conviction quand les faits viennent en prouver la fausseté. Quand on voudra démontrer par des à posteriori une idée préconçue, trop souvent on se laissera aveugler; trop souvent on croira voir ce qu'on croit être; trop souvent encore on mettra en avant les faits les moins importants, laissant derrière des considérations d'une plus grande valeur, mais qui ne s'accordent pas avec le but que l'on veut atteindre. — C'est l'histoire de la besace; elle est et sera éternellement vraie. — Quand les faits arrivent, combattant l'idée conçue à priori, rarement on les produira, car il déplaît toujours à l'homme de déclarer qu'il s'est trompé.

Mais il faut le reconnaître, cette dangereuse méthode a souvent très-heureusement servi M. de Blainville. Il aimait surtout les contrastes, même dans ses expressions. Il aimait à opposer une assertion contraire à celle qu'il combattait. Si, par exemple, on mettait en avant telle ou telle condition pour nier l'existence d'un fait, c'est sur cette condition même servant de point d'appui à l'opinion adverse que se basait de Blainville pour trouver la preuve de l'existence du fait. Cuvier niait la série animale parce qu'on y observe des lacunes; de Blainville, prenant comme une arme ces lacunes qu'on lui opposait, s'en servait pour démontrer la réalité de ces modifications insensibles des êtres qui établissent des passages naturels des uns aux autres. Il démontrait ensuite à posteriori ce qu'il avait conçu à priori. Et dans cette démonstration, s'il n'arrive pas à convaincre, il n'en fait pas moins de très-heureuses rectifications, et si dans l'ensemble il n'atteint pas son but, il ressort au moins de sa discussion de judicieuses remarques et des faits importants d'observation.

D'autres fois, c'est une analogie qu'il découvre entre des parties considérées comme très-différentes; et ses expressions exagèrent cette analogie au point de lui faire formuler au début d'une leçon cette proposition inattendue : « L'œil, c'est un poil! » Et, suivant sa méthode, après avoir raisonné à priori, il prouve ensuite à posteriori, ou du moins cherche à prouver cette affirmation aussi imprévue qu'originale.

Cette manière vraiment piquante et pittoresque de prendre les questions les plus ardues, jointe à son amour pour la lutte et à ses relations toujours fort tendues avec Cuvier, faisait de de Blainville un des professeurs les plus originaux, et dont le cours était par conséquent l'un des plus suivis.

Qui, en effet, n'eût pas été frappé, comme M. Lacaze-Duthiers le fut lui-même, en entendant une pareille proposition : « L'œil, c'est un poil! » Le désir de suivre la démonstration de ce rapprochement singulier retenait forcément une fois que l'on était entré dans la salle du cours. On était curieux de voir comment il pourrait arriver à cette conclusion.

M. Lacaze-Duthiers n'a jamais oublié qu'étant étudiant en médecine, il entra un jour, presque par hasard, dans l'amphithéâtre de Blainville à la Sorbonne: le professeur formulait précisément cette proposition qu'on vient de rapporter. Il voulut assister à la démonstration, et l'intérêt des raisonnements de de Blainville fut tel, il mit une telle vigueur, une telle originalité dans son argumentation, que M. Lacaze-Duthiers revint à la leçon suivante, et depuis lors fut assidu au cours du brillant professeur.

C'est, qu'en effet, il captivait son auditoire par la nouveauté et l'originalité de ses vues. Souvent aussi il se laissait aller à combattre les opinions d'autrui, et il faut avouer qu'il y a toujours là un sujet et une cause de succès, car l'esprit humain est ainsi fait qu'il aime la lutte et la contradiction.

Pour bien comprendre la méthode de travail de de Blain-

Digitized by Google

ville, arrêtons-nous un instant sur la proposition formulée par lui d'une façon si inattendue : « L'œil, c'est un poil ! » En développant la démonstration qu'il en donnait, nous verrons quelle est sa méthode et comment il procède dans ses raisonnements; nous verrons en même temps la tendance générale de son esprit vers la nouveauté et l'imprévu.

Mais pour bien analyser cette vue à priori, il est nécessaire de remonter plus haut dans la filiation de ses idées générales.

Nous trouverions, au point de départ de ses conceptions de philosophie naturelle, la définition de la vie. Mais nous ne pouvons aller aussi loin; cette définition d'ailleurs ne touche pas à des questions aussi générales que dans l'œuvre de de Lamarck.

De Blainville admet que « le but ou le terme de toutes les » fonctions qu'exécutent les organes des animaux, est la géné- » ration ou l'entretien, la succession, ou quelquefois le per- » fectionnement de l'espèce ».

Mais pour que cette continuation de l'espèce s'accomplisse, il est nécessaire que l'individu arrive à un état particulier de puissance organique, il faut qu'il s'accroisse et s'entretienne. De là deux ordres de fonctions ou mieux deux facultés : la faculté *assimilatrice* ou *de composition*, dont le résultat est la nutrition; la faculté *désassimilatrice* ou *de décomposition* qui a pour but la reproduction. Cette dernière semble, en quelque sorte, détruire l'individu par la désagrégation, la séparation des molécules qui le composent. La faculté assimilatrice attire et fixe les molécules, elle agit de dehors en dedans ; la faculté désassimilatrice, au contraire, les repousse et les désunit, elle s'exerce de dedans en dehors.

Sous les noms de *fonction* ou de *faculté*, cette théorie de de Blainville ne rappelle-t-elle pas les *forces* attractives et répulsives de de Lamarck? Sans doute il y a des différences considérables, mais l'idée générale de répulsion et de réunion se trouve encore ici reproduite sous une autre forme.

Pour agir, ces deux facultés fondamentales ont besoin, comme dit de Blainville, d'être *animalisées;* c'est-à-dire que pour être mises en action, il leur faut l'intervention d'un troisième ordre de parties de l'organisme, qui constitue les *fonctions sensoriales et locomotrices.*

Jusque-là, il n'y a rien de nouveau dans la physiologie de de Blainville, sinon cette forme, cette manière d'envisager la nature et l'ordre des fonctions. Mais il va bientôt se séparer des idées de tout le monde.

Les fonctions sensoriales et locomotrices sont jusqu'à un certain point accessoires; elles appartiennent aux grands appareils et leur sont également utiles. Mais elles dépendent de l'enveloppe de l'animal et doivent lui être rattachées. La sensation, cette fonction spéciale qui établit les rapports de l'animal avec le monde extérieur, se passe dans l'enveloppe de son corps et y réside exclusivement.

Cette enveloppe détermine la forme de l'animal, c'est-à-dire sa limite dans l'espace. La partie de la science qui s'occupe de ces formes, c'est la *morphologie.*

Elle le met en rapport avec le monde qu'elle lui fait connaître. A ce point de vue son étude constitue l'*œsthésiologie* (αἴσθησις, perception, sensation).

Comme la sensation, la locomotion est dépendante de l'enveloppe. Mais dans cette opinion de de Blainville il y a une exagération. Il est impossible, en effet, de considérer toutes les parties profondes de l'appareil de la locomotion comme appartenant à l'enveloppe extérieure. On ne peut accepter cette idée, qui ferait des membres tout entiers une simple dépendance de la peau.

On voit par ce rapide exposé, quelle importance extrême de Blainville attachait à la connaissance de la peau. Aussi s'est-il occupé avec le plus grand soin de sa structure.

Il n'est pas possible de décrire ici la peau dans son entier. Pareille étude mènerait trop loin et ferait perdre la filiation des idées qui ont conduit de Blainville à la proposition qu'il s'agit de démontrer. Les parties dont la connaissance est nécessaire pour suivre son raisonnement nous arrêteront seules.

De Blainville fait d'abord une division dans les tissus composant la peau. Pour lui l'enveloppe cutanée est formée de *parties fondamentales* qui sont : la couche musculaire, le derme, le réseau vasculaire, le pigmentum, les corps papillaires, l'épiderme. Il y aurait évidemment beaucoup à discuter aujourd'hui sur pareille composition, les découvertes de l'histologie moderne ayant considérablement modifié les idées reçues alors sur la structure de la peau.

En second lieu, l'enveloppe cutanée renferme, parmi ses éléments constituants, des *parties accessoires* ou de *perfectionnement.* Celles-ci sont très-remarquables par leur forme et leur disposition très-différentes en apparence, mais identiques en réalité. Ces parties accessoires sont les *cryptes* et les *phanères* qui couvrent la peau de l'homme et de la plupart des animaux.

Le *crypte* est une petite dépression, sorte de cavité globuleuse creusée dans l'épaisseur du tissu dermique. Il a des parois propres qui sont, en procédant de dehors en dedans, une couche externe fibreuse, une membrane interne vasculaire. La couche fibreuse présente deux orifices, l'un superficiel, qui fait communiquer le crypte avec l'extérieur; l'autre profond, qui donne passage aux vaisseaux et aux nerfs. Enfin, dans l'intérieur de cette cavité, il y a un produit fluide de nature diverse, sécrété par la membrane vasculaire, et qui est rejeté au dehors par l'orifice externe ou superficiel.

Les cryptes sont très-nombreux à la surface du corps ; il suffit de citer, comme exemples, les petites glandules salivaires de la muqueuse buccale, les cryptes sébacés dont le volume et la quantité sont si considérables sur le nez, le cuir chevelu et d'autres parties du corps.

Le *phanère* (φανερὸς, saillant, évident), cavité assez analogue à la précédente et ne s'en distinguant que par son produit, se compose de deux choses essentielles : *la partie vivante*, nécessaire, productrice, interne ; *la partie morte*, accidentelle, produite, externe ; la première correspond au *bulbe*, la seconde est l'analogue du *poil.*

Le bulbe est formé en allant de dehors en dedans par une tunique fibreuse, percée de deux orifices comme elle l'est dans le crypte; une tunique vasculaire, enfin une tunique nerveuse, la plus interne.

Le poil est le contenu de cet organe. Il est constitué par deux parties distinctes : l'une, molle, pulpeuse, sensible, est la partie vivante ; l'autre, insensible, morte, est sécrétée par la première, fait saillie et pousse à l'extérieur en couches concentriques.

Voici posé le point de départ de la démonstration.

De Blainville raisonne alors à priori. Ce phanère, selon lui, peut se modifier dans sa forme et produire des organes très-différents en apparence, mais semblables en réalité, au point de vue de la structure et de la disposition générale.

« C'est, dit-il, par des modifications conséquentes avec sa

Digitized by Google

» fonction, qu'un phanère peut produire un organe des sens » plus perfectionné, comme dans ceux que nous verrons être » les plus spéciaux, les plus élevés; ou bien un organe offensif » ou un instrument mécanique, lorsqu'il deviendra ce que » nous nommerons une dent; ou enfin un organe simplement » protecteur, défensif ou offensif, lorsqu'il formera un poil ou » une plume ordinaire, une corne, etc. »

Revenons maintenant à notre affirmation du point de départ : « L'œil, c'est un poil. »

Tout phanère est constitué sur le même plan, avec des formes diverses adaptées à ses usages, mais avec la même disposition générale. Il nous reste donc à démontrer à posteriori qu'il y a dans l'œil ce qui est dans un phanère; s'il y a similitude de composition entre l'œil et un phanère, il faudra bien en conclure que l'œil est l'analogue du poil, puisque le poil et son appareil formateur constituent le phanère dans sa disposition typique.

Dans l'œil, on trouve d'abord une membrane externe, enveloppante, fibreuse, la sclérotique. Cette membrane présente deux orifices, l'un antérieur, orifice pupillaire, l'autre postérieur, pour le passage du nerf optique et des vaisseaux de l'œil. Puis se présente une membrane moyenne, vasculaire, la choroïde.

Enfin, une troisième couche complète la composition des parois du globe oculaire, c'est la couche nerveuse, la rétine.

N'y a-t-il pas une similitude frappante entre ces trois membranes de l'œil et celles que nous avons vues former la partie contenante du phanère ?

Dans la cavité limitée par ces parois, se trouve dans l'œil un contenu qui peut se diviser en deux parties : l'une vivante et molle, c'est l'humeur vitrée; l'autre plus dure, morte ou insensible, formée de couches concentriques, le cristallin.

Ici encore, il y a analogie et rapprochement évident entre ces parties de l'œil et les parties correspondantes du phanère. Que l'on substitue les noms les uns aux autres, et il n'y aura pas de descriptions spéciales à faire.

On peut encore aller plus loin dans ce rapprochement.

Le bulbe pileux est mû par des faisceaux musculaires dont l'action constitue le phénomène connu sous le nom de *chair de poule*. De même l'œil devait être déplacé, plus encore qu'il n'est nécessaire pour le poil : de là les nombreux muscles moteurs du globe oculaire, qui ne sont que les analogues des petits faisceaux musculaires du bulbe.

Donc l'œil, dans sa composition intime comme dans ses parties accessoires, est réellement un phanère modifié; et lorsqu'on affirme que l'œil est un poil, on ne fait qu'une opposition de mots singulière au premier abord, mais qui exprime une similitude organique réelle.

Ainsi raisonne et conclut de Blainville.

Les développements qui viennent d'être donnés indiquent clairement sa façon originale de procéder, en même temps qu'ils font comprendre une de ces assertions brusques et saillantes familières à de Blainville, assertions qui prenaient l'auditoire à l'improviste, l'entraînaient et le captivaient véritablement.

Arrivons à l'examen des idées de de Blainville sur la série animale, que l'on peut considérer comme la grande préoccupation qui le guidait dans tous ses travaux.

A l'époque où il aborda cette importante question, de Lamarck la niait dans ses conclusions, bien qu'elle fût au fond de ses écrits, et qu'il semblât naturel de la déduire de ses théories sur la génération directe et la mutabilité des espèces.

Cuvier la combattait parce que l'observation lui avait montré qu'elle n'existait pas, parce qu'il avait rencontré entre les animaux des lacunes, des hiatus qu'il ne pouvait combler.

De Blainville, le dernier, ou à peu près, parmi les zoologistes, défendit cette idée de l'échelle animale, et s'il ne parvint pas à la faire admettre comme vérité, il faut au moins reconnaître que, de ses efforts, il est sorti bien des observations d'une grande importance, et que cette discussion lui a fourni l'occasion de redresser des erreurs de classification.

Pour la plupart des auteurs, l'Homme serait un animal et, à ce titre, devrait être rangé à sa place dans la série. De Blainville le met en dehors, et le distingue, parce que seul il conçoit son Créateur et qu'il y a en lui un être moral qu'on ne trouve point dans l'animal. La série commence donc au Singe qui ressemble le plus à l'Homme par sa partie physique, et s'arrête à l'Éponge et à la Thétye, qui représentent le degré le plus inférieur de l'animalité.

Les idées religieuses se mêlaient vaguement en lui avec les idées scientifiques. Ainsi, il admettait que « les animaux, au » milieu desquels vit l'homme, ont été créés pour ses be» soins », et partant de là, il conclut que chacun d'eux doit occuper une place déterminée dans la série, place qui lui a été assignée par le Créateur et que le travail du zoologiste consiste à rechercher. Mais c'est là une assertion qui ne peut s'appuyer que sur les traditions religieuses; il reste à démontrer, d'une part, que les animaux ont été créés uniquement pour nos besoins, et que d'autre part cette création a fait occuper à chacun d'eux, dans la série des êtres, une place déterminée, entre des animaux dont il diffère peu et qui le relient à tout l'ensemble du règne.

L'idée de la démonstration de la série animale est certainement le grand fait de la vie scientifique de de Blainville. Ses autres travaux n'ont pour ainsi dire été entrepris que pour concourir à ce but. Mais en abordant cette question, des difficultés sérieuses se présentaient dès l'abord; il se trouvait en présence d'opinions fortement assises et déjà en pleine possession de la faveur publique. Ces difficultés peuvent se réunir et se formuler en trois propositions.

D'abord, les travaux de Cuvier avaient montré que, dans l'ensemble des êtres, il existe des types principaux entre lesquels on ne saurait voir de passage. Entre deux êtres qui se suivent il y a souvent une lacune que l'on ne peut combler, un hiatus qu'on ne peut adoucir ni éviter.

Puis le même auteur avait admis, et l'on a admis bien longtemps après lui, sans même songer à la discuter, une opinion qui semblait résulter des recherches du fondateur de la paléontologie, la théorie des créations successives, incompatible avec l'idée de la fusion insensible des caractères individuels et spécifiques.

Enfin une troisième objection s'élevait contre de Blainville.

Des animaux qui se placent en série linéaire doivent évidemment être tous de plus en plus parfaits, ou se dégrader insensiblement, suivant que l'on avance dans un sens ou dans l'autre. Or, l'observation ne démontre pas ce fait nécessaire à l'existence d'une échelle de dégradation et de perfectionnement. Les types de quelques groupes pris isolément se placent d'ordinaire en séries, mais à côté de ces petites séries naturelles se trouvent bien souvent des êtres qui rompent forcément l'harmonie de l'ensemble. Souvent le type le plus élevé d'une de ces séries partielles a devant lui un être qui appartient

Digitized by Google

à une série évidemment supérieure, mais qui lui est inférieur par son organisation; de la même façon, le type le plus inférieur de cette série peut précéder des animaux qui, par leur constitution individuelle, lui sont de beaucoup supérieurs. C'est ainsi, pour en citer un exemple, que le Poulpe possède une organisation plus complète que les derniers représentants de la classe des Crustacés, et cependant ceux-ci doivent le précéder dans la classification, si l'on place les Articulés avant les Mollusques.

Ainsi trois difficultés peuvent être objectées aux partisans de la série animale : les hiatus, les créations successives, l'infériorité organique des derniers représentants de chaque type. De Blainville, suivant son habitude, prend de front ces objections, et les retourne même contre ses adversaires. Voyons comment il a répondu à chacune d'elles, comment il les a combattues pour arriver à démontrer l'existence de la série.

Et d'abord, en ce qui concerne les lacunes ou les hiatus que Cuvier et ses partisans lui opposaient, de Blainville était loin de répondre par une négation. — Oui, disait-il, ces lacunes existent; je les admets, car loin de détruire l'idée de la série, elles la démontrent et la fortifient. Comme vous, je reconnais qu'il manque des termes dans cet enchaînement des êtres, mais le problème consiste simplement à les retrouver, car ils existent ou ont existé.

On retrouve ici la manière originale dont Blainville procédait.

C'est ainsi qu'il admet les lacunes, que du reste l'observation prouve dans les petits groupes ou groupes secondaires. Il suffit, affirme-t-il, de trouver ces termes intermédiaires qui paraissent manquer. Où les chercher? — Dans cet ossuaire immense enfoui dans les couches terrestres, qui, d'après une image aussi poétique que frappante, « renferme les vestiges » animés qui éternisent dans la mort les formes de la vie ».

Pour combler ces lacunes, il y a d'ailleurs des êtres de passage. Ainsi, pour prendre un exemple, la transition est établie des mammifères aux oiseaux par l'Ornithorhynque. Cet animal singulier apporte dans le groupe des mammifères des caractères *paradoxaux* qui font presque hésiter à lui assigner une place déterminée : son bec le rapproche des oiseaux, par son mode de reproduction il rappelle les serpents ovovivipares. C'était pour de Blainville un terme précieux de transition, qui montrait de la manière la plus évidente la tendance de la nature à combler les vides, son horreur des passages brusquement amenés.

L'idée de la série se retrouve naturellement dans les classifications de de Blainville. Ainsi, dans les tableaux qu'il a donnés du règne animal, il intercale parfois des classes perdues, qui établissent des transitions et comblent des lacunes. Entre les Oiseaux et les Reptiles il place le Ptérodactyle, qui tient du reptile par la plupart de ses caractères ostéographiques, mais qui se rapproche aussi de l'oiseau par la modification de ses membres antérieurs dont quelques rayons s'allongent et deviennent propres à supporter une membrane qui forme à l'animal une sorte d'aile.

Plus bas, entre les Reptiles et les Poissons, et faisant passage des uns aux autres, il intercale l'Ichthyosaure dont le nom même indique cette participation aux caractères des deux classes entre lesquelles le place de Blainville.

Ces exemples plaisaient au grand zoologiste qui nous occupe. Il aimait alors à développer sa théorie de la fusion insensible des caractères, et procédant toujours de la même manière dans ses raisonnements, il concluait que les lacunes démontraient la série animale à priori, quand à posteriori on trouvait des êtres qui venaient combler naturellement ces vides, et fournir la transition désirée.

Il allait même plus loin encore dans ses déductions, en affirmant que l'on pouvait, par l'existence et le nombre même des lacunes, juger du nombre des espèces éteintes. Aussi posait-il en principe que « plus un groupe est hétéro- » gène et semble formé de genres sans liaison, plus la paléon- » tologie doit espérer de rencontrer d'espèces fossiles ».

A l'appui de cette assertion nouvelle, il se plaisait à citer un exemple, frappant du reste, et qu'il considérait comme probant. La classe des Pachydermes est, parmi les Mammifères, de toutes les classes naturelles celle qui présente le plus d'hiatus et paraît formée des animaux les plus dissemblables. Le Cheval, l'Éléphant, l'Hippopotame, le Cochon, sont certainement des genres extrêmement éloignés par leurs caractères, et entre lesquels il est difficile de trouver des passages gradués. Mais aussi il n'y a pas de groupe qui ait fourni à la paléontologie un plus grand nombre d'espèces détruites, et parmi tous les animaux que Cuvier lui-même a retrouvés dans les gypses de Montmartre, il devait bien reconnaître que les Pachydermes tenaient la plus grande place. Il suffit de citer le Mastodonte, le Palæotherium, l'Anoplotherium, etc. On conçoit que de Blainville aimait à opposer à son adversaire un argument qu'il lui avait fourni lui-même.

Mais il y a des lacunes que de Blainville n'a pu combler. Cuvier avait fait quatre grandes coupes dans le règne animal, en le divisant en Zoophytes, Annelés, Mollusques et Vertébrés. Entre chacune de ces divisions il y a des hiatus qu'on ne peut éviter, qui enferment dans des limites infranchissables les quatre grands groupes établis par Cuvier. Ces hiatus, les persévérantes investigations de de Blainville n'ont pu les effacer. Il espérait que l'on arriverait un jour à découvrir ces transitions nécessaires; mais on ne les a pas encore trouvées. Avec un esprit éminemment observateur, il établissait une série parfaite dans une foule de groupes secondaires; mais il ne put éviter l'objection que lui opposait l'établissement des quatre grandes divisions du règne animal. Suivant la pente naturelle de son caractère, il luttait et se roidissait davantage à mesure que les obstacles étaient plus grands, et cette difficulté insoluble ne fut pas capable de lui faire abandonner sa doctrine du passage gradué des êtres les uns aux autres; il espérait que l'avenir apporterait à l'appui de sa théorie les observations probantes que le présent lui refusait.

Pour nous résumer sur ce premier point, de Blainville, en poursuivant la démonstration de la série animale, a redressé bien des erreurs de classification; il a introduit dans la science des observations nouvelles, des applications inattendues de faits déjà connus. Mais il n'a pu démontrer ni le passage d'un Mollusque à un Annélide, ni la transition du Vertébré à l'Invertébré. Cependant, en ce qui concerne ce dernier point, l'organisation de l'Amphioxus dont il a été tant parlé, semblerait mettre sur la voie de la démonstration.

Mais, quelle que soit sa simplicité, l'Amphioxus n'en est pas moins un Vertébré, caractérisé essentiellement par la disposition de son système nerveux qui est placé au-dessus du tube digestif auquel il est parallèle. Si, du reste, on voulait avec lui établir la transition du ver au poisson, on serait forcé d'admettre, ou bien qu'il existe plusieurs séries parallèles, ou bien que le passage des Vertébrés aux Invertébrés est

Digitized by Google

établi par un animal d'une organisation de beaucoup inférieure à celle de l'insecte qui tient réellement la tête dans la classification des animaux sans vertèbres. On tomberait précisément ainsi dans une autre difficulté opposée à la doctrine de la série animale.

Une deuxième objection, avons-nous vu, se fondait sur la doctrine des créations successives. Tout le monde sait que Cuvier, dans son mémorable *Discours sur les révolutions du globe*, a admis des bouleversements successifs qui ont changé plusieurs fois sa disposition, et déterminé la production de conditions nouvelles. Suivant ces changements survenus dans les conditions d'existence, la terre fut successivement peuplée de créations diverses et de plus en plus parfaites. On trouve, en effet, dans les couches du globe, des zones présentant des faunes différentes se perfectionnant d'autant plus qu'on approche davantage de l'époque géologique actuelle.

Telle est l'opinion de Cuvier, que l'on exagéra jusqu'à penser que cette complication de plus en plus grande des animaux, à mesure que l'on remonte des dernières couches aux plus superficielles, démontrait la série des êtres vivants. Car, disait-on, à mesure que la nature s'est perfectionnée dans l'accomplissement de son œuvre, les êtres formés ont apparu supérieurs en organisation aux êtres préexistants; elle a en réalité suivi les degrés de la série animale dans l'accomplissement de son œuvre. Mais évidemment c'est là une exagération ou une fausse interprétation de la théorie de Cuvier.

A cette doctrine des créations successives qu'on lui présentait comme une objection, de Blainville répondait par une énergique négation. Pour lui, la nature et les animaux ont été faits d'un même jet par le Créateur. Il n'y a pas eu de créations successives; la série animale est sortie telle qu'elle est des mains de son divin auteur.

Des révolutions du globe, des causes nombreuses générales ou locales ont détruit bien des termes de cette série, et tous ces termes qui manquent nous indiquent les lacunes qu'il nous semble si difficile d'éviter. Mais en réalité ces prétendues lacunes n'ont aucune valeur; il existe ou il a existé des animaux qui les pourraient combler, car notre imagination seule a transformé en réalités ces lacunes que l'étude attentive des êtres comble déjà ou fera disparaître dans l'avenir.

Mais tout ceci est affirmation, et à l'appui de cette création d'un seul jet, de Blainville ne peut citer un seul fait de démonstration. Cette théorie était la conséquence de la méthode des conceptions à priori qui le guidait toujours; elle était aussi le résultat des idées religieuses qui prenaient sur de Blainville de plus en plus d'empire, à mesure qu'il avançait en âge.

Cependant cette critique fut une des premières dirigées contre la théorie de Cuvier sur les révolutions et les créations successives. Elle a au moins ouvert la voie à l'examen et à la discussion, et aujourd'hui il est bien peu de géologues qui admettent encore la constitution du globe et la création vivante telles que les concevait Cuvier. En montrant les relations qui unissent les espèces actuelles aux espèces éteintes, relations sur lesquelles il a beaucoup insisté, de Blainville a encore rendu des services réels à la science.

Abordons la troisième objection faite à la doctrine de la série animale, celle qui se fonde sur la nécessité de placer, dans les classifications, des animaux à organisation moins parfaite avant d'autres qu'il faut, suivant les idées reçues de perfectionnement des groupes, placer forcément après eux, bien qu'ils leur soient supérieurs comme composition organique. Ceci nous conduit à la théorie de de Blainville sur la *dégradation des types*, une des idées les plus originales et les plus vraies qu'il ait introduites dans la science et qui lui est entièrement due.

On lui objectait que la série linéaire lui ferait placer souvent des êtres moins parfaits avant des êtres relativement supérieurs à eux, et l'on concluait que la série n'existe pas.

A quoi il répondait que si la première partie de cette proposition était vraie, si elle était le résultat positif de l'observation, la conclusion qu'on en tirait était inexacte et ne découlait pas forcément des rapports des êtres dans la classification. Et il expliquait ces contradictions apparentes par ce qu'il appela la *dégradation des types*.

Que faut-il entendre par là?

De Blainville représentait graphiquement les différents groupes d'animaux. Sur une ligne horizontale il élevait des perpendiculaires de longueurs différentes et proportionnelles au perfectionnement du groupe auquel elles s'appliquaient. Leur ensemble reproduirait à ses yeux la série tout entière des divisions faites dans le règne animal, en même temps qu'il indiquait la dégradation successive de chaque division.

Mais chacun de ces groupes, à son tour, pouvait être représenté de la même manière par autant de lignes perpendiculaires qu'il renfermait d'espèces, et ces lignes allaient en décroissant jusqu'au dernier représentant du groupe. Il est évident que, dans la plupart des cas, la dernière ligne de chaque division atteignait une hauteur bien moindre que la première ligne de la division suivante. Était-ce à dire que l'animal qu'elle représentait était inférieur à celui qui le suivait? Oui, si l'on tient compte seulement de son organisation; non, si on le considère comme faisant partie d'un groupe plus élevé, mais comme étant le représentant dégradé de ce type.

Il y a là une vue très-originale et très-vraie. Le dernier terme d'une classe d'animaux peut être plus bas en somme que le premier de la classe suivante. Mais, il faut bien le dire, cette ingénieuse conception ne démontre pas la série; elle pourrait prouver tout au plus qu'elle est fort onduleuse. Il reste toujours, contre la croyance à la disposition sériale des êtres, l'objection capitale de l'existence des lacunes.

Il nous resterait à étudier dans leurs détails les travaux spéciaux de Blainville, mais pareil examen nous entraînerait trop loin. Cependant, parmi ces nombreuses productions, deux nous intéressent spécialement, et nous devons nous y arrêter.

Ce sont, d'une part, le *Manuel de malacologie*, de l'autre, le *Manuel d'actinologie*. C'est en réalité une histoire naturelle des Mollusques et des Zoophytes, riche en observations de toute nature. Mais, à côté de découvertes importantes, de considérations justes, on y trouve, il faut bien le dire, des erreurs considérables; le temps ne nous permet d'apprécier, dans leurs détails, ni les unes ni les autres.

De Blainville avait préparé la publication de son *Traité de malacologie* par des mémoires peut-être composés spécialement en vue de la succession de de Lamarck.

Parmi les travaux qui composent ce manuel, l'un surtout est remarquable : c'est celui qui a trait aux *Bélemnites*. Le premier, de Blainville a établi la nature de ces corps singuliers qu'on trouve dans les différentes couches du globe, le premier il montra l'analogie qui existe entre eux et l'os de la Sèche. On avait cru jusque-là que l'animal vivait logé

Digitized by Google

dans le cône qui termine la bélemnite, mais l'anatomie comparée l'amena à rapporter à quelque mollusque ana-

Fig. 132. — Sèche élégante (*Sepia elegans* de Blainville) (d'après le *Monde de la mer* d'Alfred Frédol).

logue à la Sèche ou au Calmar ces restes singuliers que l'on n'avait pu classer avant lui, et les découvertes paléontolo-

Fig. 133. — Os de Sèche (d'après le *Monde de la mer* d'Alfred Frédol).

Fig. 134. — Os de Calmar (d'après le *Monde de la mer* d'Alfred Frédol).

giques ont plus tard donné raison à de Blainville. La Bélemnite, comme l'os de la Sèche, était placée dans les profondeurs des tissus du dos de l'animal; leur analogie, comme structure et comme rôle, est parfaitement démontrée aujourd'hui.

Une remarque peut être faite ici à ce propos. Il semble que les objets des collections aient deux valeurs distinctes. L'une, intrinsèque, est le plus souvent nulle par cela seul que les échantillons sont faciles à se procurer; c'est ce qui a lieu pour la plupart des espèces de Bélemnites. L'autre, relative, est souvent très-considérable, et la détermination que certains hommes ont faite des échantillons leur donne une importance particulière, car ces échantillons deviennent en quelque sorte nécessaires à la reconnaissance des espèces types qu'ils ont servi à créer.

Cette valeur relative des objets fait la vraie valeur des collections. Tous les jours on consulte les types de Lamarck et de Blainville, et c'est ainsi que doit se comprendre ce que l'on pourrait peut-être appeler la religion des étiquettes qui, au Muséum sont autant que possible conservées, surtout quand la main d'illustres zoologistes y a écrit elle-même le nom des espèces qu'ils ont créées ou déterminées.

Nous ne nous arrêterons pas longtemps sur le *Traité d'actinologie* qu'a laissé de Blainville. Cet ouvrage parut après qu'il eut quitté la chaire des Mollusques, Annélides et Zoophytes. Il manquait à de Blainville, pour traiter ce sujet, l'observation de la nature, surtout de la nature vivante; il lui manquait surtout le maniement du microscope, qui a fait faire tant de découvertes chez ces animaux inférieurs. Aussi a-t-il commis de graves erreurs, que ces imperfections dans le mode et les moyens de travail expliquent suffisamment.

A la mort de Cuvier, de Blainville, que sa collaboration et ses travaux antérieurs désignaient naturellement pour le remplacer, passa à la chaire d'anatomie comparée. Cette permutation eut lieu le 22 octobre 1832. A cette même date, M. Valenciennes fut appelé à remplir la chaire devenue vacante.

C'est alors que de Blainville entreprit un travail immense qui est et restera inachevé, l'*Ostéographie*, ou *Description iconographique de tous les squelettes des cinq classes des animaux vertébrés récents et fossiles, pour servir de base à la zoologie et à la géologie.*

Sans entrer dans une analyse détaillée de cet ouvrage, il est facile de voir dans quelle direction et dans quel but il l'écrivit. Cuvier avait laissé incomplet son livre *Sur les ossements fossiles;* de Blainville voulut compléter cette œuvre capitale et entreprit la publication de son *Ostéographie;* c'est un travail qui lui incombait nécessairement dans la nouvelle position qu'il occupait. Il se mit courageusement à l'œuvre, à l'âge de soixante-deux ans. La mort laissa fatalement inachevé ce travail immense. Elle vint frapper inopinément de Blainville le 1er mai 1850. Il était né à Arques, le 12 septembre 1777.

En résumé, nous devons considérer de Blainville comme un chercheur infatigable. Peu de naturalistes ont laissé autant de travaux que lui, et cependant il a entrepris bien tard l'étude des sciences naturelles. Sa première jeunesse fut très-orageuse; il commença la vie au milieu des angoisses les plus vives que les révolutions du temps lui occasionnèrent.

Il avait été placé par sa famille dans une pension militaire, à Beaumont-sur-Ange, car on le destinait à la carrière des armes. La Révolution l'en chassa, car cette pension, fondée par la noblesse de Normandie et de Bretagne, était dirigée par des Bénédictins.

En 1793, madame de Blainville dut abandonner son château et fuir, pour échapper aux persécutions dont elle était menacée; son fils l'accompagna pour la protéger et la défendre. Dans ces tristes circonstances, il montrait déjà ce cœur chaud, aimant et dévoué, que ses amis connaissaient bien. On raconte que, fuyant dans la campagne pour soustraire sa mère aux poursuites ordonnées contre elle, il fut obligé, dans le plus grand dénûment, de détacher la paille du toit d'une masure abandonnée pour en faire un lit, et protéger contre le froid celle qu'il aurait voulu sauver au prix de ses jours. C'est là un incident qui peut paraître de peu d'importance, mais il révèle au moins ce côté de dévouement chevaleresque et d'affection sincère, que l'on a peut-être trop souvent méconnu dans l'étude du caractère de de Blainville.

Rentré en France après la Terreur, il vint à Paris, et les premières années qu'il y passa furent des années de dissipation. Il fut tour à tour élève du Conservatoire de musique, puis peintre dans l'atelier de Vincent. C'est ainsi qu'il dépensa joyeusement son patrimoine.

Digitized by Google

Il était âgé de vingt-sept ans quand, par hasard, entrant au Collége de France, il entendit une leçon de Cuvier. Un changement se fit subitement en lui, la voie qu'il devait suivre lui avait été montrée. Il rompit brusquement avec les habitudes de sa jeunesse, et, suivant les conseils de Duméril, se mit à étudier la médecine. Trois ans après, il était docteur et professait l'anatomie.

Cuvier l'avait vu souvent, travaillant dans les galeries du Muséum, et avait remarqué son assiduité. Il lui offrit de devenir son collaborateur pour le *Traité d'anatomie comparée* qu'il préparait, et lui assura 2000 francs par an pour ce travail. Puis il le fit nommer professeur à l'Athénée et le chargea de sa suppléance au Muséum et au Collége de France. C'est dans cet enseignement que de Blainville s'empara, par l'originalité de ses vues et son amour de la discussion, de la faveur publique, qui dès lors lui fut acquise et ne l'abandonna plus. Mais les idées qu'il y professait étaient tout autres que celles de Cuvier; d'un autre côté, un différent s'éleva entre eux à propos de la collaboration à l'*Anatomie comparée*.

La froideur qui s'établit dès ce moment entre ces deux naturalistes a été diversement interprétée; la conduite de de Blainville fut qualifiée d'ingratitude par les uns, considérée comme une nécessité par les autres. Le fait est que de Blainville était très-irritable, de l'aveu même de ses amis les plus intimes. Vrai gentilhomme, la dépendance lui était intolérable, et son caractère ne pouvait supporter la supériorité et la domination. L'accord entre Cuvier et lui ne pouvait être long; un prétexte donna occasion à cette séparation nécessaire. La rupture fut complète.

M. Constant Prévost, qui fut son ami le plus intime et le plus dévoué, a rapporté ce mot de lui : « Quel bien Cuvier » m'a fait en me retirant sa faveur et sa protection! Je lui » dois ce redoublement d'ardeur pour le travail, ce feu dévo- » rant, qui me permettront de m'élever jusqu'à sa hauteur.»

Les concessions de Cuvier ne purent empêcher cette rupture, car elles n'avaient aucune prise sur l'âme fière et indépendante de de Blainville. Il eût fallu que Cuvier ne fût pas Cuvier, c'est-à-dire le grand réformateur de la zoologie, dirigeant en maître les sciences naturelles, pour que de Blainville pût rester en bonne intelligence avec lui.

Il a avoué qu'il avait besoin de la controverse, et qu'elle lui était même nécessaire à l'élaboration de sa pensée. La discussion était pour lui comme un moyen de trouver la vérité; dans la défense de ses théories, dans l'attaque des opinions d'autrui, son esprit s'élevait, sa pensée devenait prompte, et les arguments arrivaient nombreux et forts pour les besoins de sa cause.

Telles étaient les qualités de de Blainville : haine de la dépendance d'une part, amour de la controverse de l'autre : aussi tous ses travaux durent se ressentir de cette tendance de son esprit. C'est ainsi que l'importance exagérée des caractères de la forme ou de l'extérieur de l'animal doit avoir pris naissance dans ces controverses qu'il aimait tant.

Il importe donc de ne jamais perdre de vue ces particularités du caractère de de Blainville; elles sont nécessaires, si l'on veut apprécier à leur juste valeur les œuvres du grand zoologiste qui eut la gloire de faire école à côté de l'école de Cuvier. — L. Hallez.

CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS.

CHIMIE AGRICOLE (1).

COURS DE M. BOUSSINGAULT
(de l'Institut).

Nature et fonction du suc gastrique.

Les anciens ignoraient le phénomène de la digestion; les uns croyaient à une action mécanique; les autres, à une putréfaction des aliments.

Les premiers savants qui étudièrent les propriétés du suc gastrique cherchèrent à se procurer ce fluide en vomissant, soit à jeun, soit après avoir pris une faible quantité d'aliments. Spallanzani avalait de petits tubes de bois percés de trous et remplis d'aliments dont la présence irritait l'estomac, ensuite il provoquait le vomissement. Plus tard, Réaumur et Spallanzani introduisirent dans l'estomac des animaux des éponges sèches et enfermées dans des tubes percés de trous; au moyen de fils ils ramenaient ces éponges au dehors. D'autres firent avaler aux animaux des corps irritants et insolubles, puis ils les immolaient.

William Beaumont, médecin aux États-Unis, prit à son service un jeune chasseur canadien affecté d'une fistule gastrique. Cette fistule était survenue à la suite d'un coup de feu dans la région épigastrique. Beaumont fit un grand nombre d'observations très-curieuses sur le suc gastrique. Le Canadien consentit pendant assez longtemps à se laisser introduire par la fistule une sonde dans l'estomac, puis il se fatigua d'un tel emploi, s'enfuit et disparut. Après cette observation on songea à établir des fistules sur les chiens. Cette opération se fait avec succès. On fait une incision à la région épigastrique, on attire l'estomac au dehors, on l'ouvre et l'on fixe les bords de l'incision sur les lèvres de la plaie. Au bout de quelques jours, l'inflammation adhésive applique l'ouverture de l'estomac sur l'ouverture de l'abdomen et la fistule est établie. Il ne reste plus qu'à placer et à maintenir dans l'ouverture une canule avec son bouchon.

Analyse du suc gastrique d'un chien :

Matières organiques albumineuses..	1,71
Acide chlorhydrique libre....	0,31
Phosphate de chaux.....	1,17
Sels alcalins.....	0,50
Eau.....	97,31
	100,00

Beaumont a fait, sur le Canadien atteint de fistule, des recherches sur la digestibilité des différentes espèces d'aliments.

Lait.....	2 heures		
Pomme de terre.....	2	—	30
Huîtres fraîches et crues.	2	—	55
Œufs frais cuits clairs...	3	—	00
— — durs....	3	—	30
Bœuf rôti.....	3	—	00
— bouilli.....	4	—	00
— salé.....	4	—	15
Pain blanc.....	3	—	30
Fromage vieux.....	3	—	30
Tendon	5	—	30

Les physiologistes modernes ont cherché quel était l'agent mystérieux qui, dans le suc gastrique, produisait le phéno-

(1) Voy. les numéros 1, 2, 6, 8 11, 15 et 21.

Digitized by Google

mène de la digestion. L'acide libre du suc gastrique est d'une grande importance dans l'action de ce liquide sur les aliments; les chimistes ne sont pas d'accord sur la nature de cet acide, les uns affirment que c'est de l'acide *lactique*, d'autres, que c'est de l'acide butyrique; Proust paraît avoir démontré la présence de l'acide chlorhydrique.

La formation de cet acide n'a rien d'étonnant, car il y a toujours du sel marin dans les aliments; toutes les plantes en contiennent et les animaux en trouvent en quantité suffisante pour leur digestion. Après la découverte d'un acide les physiologistes cherchèrent à faire du suc gastrique par synthèse; ils mirent ce suc en contact avec de la viande à une température convenable, ils n'obtinrent pas de digestion artificielle.

C'est que lorsqu'il s'agit des phénomènes de la vie l'analyse est quelquefois un mauvais guide; souvent elle ne donne que ce qu'on lui demande, et il faut soupçonner la présence et la nature d'un principe pour l'isoler. On avait trouvé l'acide dans le suc gastrique et l'on ignorait la présence d'un principe indispensable pour faire la synthèse de ce liquide. On pensa que la membrane de l'estomac devait contenir la substance active. On prit donc la membrane d'un estomac, on la lava à grande eau, on la coupa et l'on en fit une infusion qui dura vingt-quatre heures. On essaya l'action du liquide sur de la viande : il n'y eut pas de digestion. Un chimiste allemand, Eberle, fit aussi une infusion de la membrane de l'estomac dans de l'eau pendant trente heures; il ajouta de l'acide chlorhydrique, filtra et obtint un liquide qui avait la propriété de faire une digestion artificielle. Il y avait donc dans cette membrane un principe actif; Schwan l'isola et le nomma *pepsine*. Ce principe fut surtout bien décrit par Wasmann. La pepsine est une matière azotée qui offre avec l'albumine certains caractères de ressemblance et agit à la manière d'un ferment. Elle est soluble dans l'eau et insoluble dans l'alcool. Il faut remarquer que la pepsine n'exerce son action qu'autant qu'elle est unie à un acide libre.

Divers procédés ont été proposés pour l'extraction de cette matière; on emploie surtout le suivant : on ouvre, on vide et on lave des caillettes fraîches de mouton, ensuite on frotte rudement avec une brosse de chiendent la muqueuse interne. On obtient une pulpe à laquelle on ajoute de l'eau, on laisse macérer pendant deux heures et l'on filtre. On ajoute au liquide de l'acétate de plomb cristallisé, il se forme un précipité qu'on lave, puis on le met dans de nouvelle eau et l'on fait passer un courant d'hydrogène sulfuré jusqu'à refus. On filtre et l'on évapore. Le produit obtenu est une pâte ferme, dont la couleur est ambrée, l'odeur désagréable et la saveur acidule. Pour la conserver on la mêle avec de l'amidon. La pepsine rend de grands services dans la thérapeutique; on l'emploie dans la gastrite simple où elle agit avec succès.

Après la découverte de la pepsine on a fait un grand nombre d'analyses du suc gastrique humain. Le tableau suivant donne les proportions des principes trouvés dans le suc gastrique provenant de l'estomac d'une femme :

Pepsine	0,34
Acide chlorhydrique	0,02
Phosphate de chaux	0,01
Chlorure de sodium	0,16
Sel de potasse	0,06
Eau	99,41
	100,00

Dans toute l'étendue de l'intestin, la membrane muqueuse sécrète une humeur ou mucus limpide qui a, comme la bile et le suc gastrique, la propriété de diviser et d'émulsionner les graisses. Des physiologistes ont lié l'intestin au-dessous de l'orifice du canal biliaire et des canaux pancréatiques; ils ont injecté du lait ou de l'huile d'olive dans la partie sous-jacente de l'intestin, et ont retrouvé au bout d'une heure cette substance réduite en flocons blanchâtres qui indiquaient une émulsion déjà fort avancée.

Les aliments, après avoir été transformés par les sucs digestifs, sont absorbés dans les divers départements de l'intestin. Dans l'estomac, l'absorption s'opère sur l'eau, sur les sels solubles dans le suc gastrique, sur les matières albuminoïdes digérées et sur le sucre déjà formé aux dépens des matières amylacées. L'intestin grêle absorbe les sels dissous, les matières albuminoïdes, les matières grasses et les produits secondaires, tels que l'acide lactique et l'acide acétique. Enfin, le résidu arrive dans le gros intestin, où s'opère encore une absorption limitée.

Lorsque la quantité d'aliments ingérés est disproportionnée avec les besoins de la réparation, on trouve dans les matières éliminées l'excès des substances grasses et l'excès des substances albuminoïdes elles-mêmes. On comprend que la privation d'aliments entraîne la mort. L'homme périt généralement au bout d'une semaine, quand il est soumis à une abstinence complète. Cette époque varie suivant l'âge, l'état de maigreur ou d'embonpoint, la température extérieure, etc. Les animaux à sang froid supportent assez longtemps la privation d'aliments; il en est de même des mammifères plongés dans le sommeil hibernal. Le résultat de l'inanition, c'est la diminution graduelle du poids du corps. Ainsi, un homme pesant 66 kilogrammes mourut au bout de huit jours, ne pesant plus que 56 kilogrammes.

J'ai privé de nourriture une tourterelle, et j'ai constaté que la perte du poids était chaque jour assez régulière. La température de l'atmosphère était de 7 à 12 degrés, et l'animal avait de l'eau distillée à discrétion. Voici les résultats :

Poids de la tourterelle.	Perte en 24 heures.	
gr.	gr.	
186,8	8,78	REMARQUES.
170,7	»	
163,7	7,20	La tourterelle avait été
156,1	7,40	nourrie au millet.
148,6	7,50	A l'inanition depuis
140,5	8,10	44 heures.
133,6	6,70	
132,9	»	
Perte en 7 jours		53,9
Par jour		7,7

La tourterelle, qui était grasse et vigoureuse au commencement de l'expérience, aurait encore supporté plusieurs jours d'abstinence avant de mourir, quoique déjà au bout de sept jours, elle eût maigri considérablement. Elle se tenait toujours perchée, mais elle était dans un état de torpeur dont elle ne sortait qu'à de rares intervalles.

Une autre tourterelle, privée d'aliments et de boisson pendant neuf jours, s'est comportée d'une manière analogue.

	gr.
Son poids initial était	175,6
Il est descendu, après 9 jours d'inanition, à	112,5
Perte en 9 jours	63,1
Perte par jour	7,0

Trois jours après avoir été rendue à l'alimentation nor-

Digitized by Google

male, son poids est devenu 143gr,7. Elle a donc récupéré 30 grammes de son poids en trois jours.

Les produits de la digestion doivent suffire, d'une part, à la combustion respiratoire, source de la chaleur animale, et, de l'autre, à l'assimilation. Le phénomène de la respiration paraît être le plus indispensable, car un animal privé de nourriture respire et n'assimile pas. Il faut donc, pour entretenir la vie, l'association des deux ordres d'aliments plastiques et respiratoires. Magendie prit de jeunes chiens auxquels il ne donna que du sucre pour aliment. Ces chiens ne vécurent que trente-deux jours. Dans cette expérience, ils avaient eu de l'eau à boire à discrétion. Dans un autre cas, des chiens furent nourris avec de l'huile et du beurre : ils périrent au bout de dix-sept jours. Enfin, une expérience fut faite sur un homme, qui prit du sucre pour toute nourriture pendant quarante-deux jours, époque à laquelle il mourut. Cet homme était le physiologiste lui-même, il pensait pouvoir résister à une alimentation dont les éléments n'étaient que respiratoires. Un grand nombre d'expériences faites sur des animaux nourris avec différentes substances ont montré que l'albumine, la fibrine, le caséum, bien qu'absorbés par les voies digestives, ne fournissent pas assez d'éléments combustibles et sont insuffisants pour l'entretien de la vie, lorsqu'ils sont donnés seuls. Il faut joindre à ces substances des aliments combustibles tels que l'amidon, le sucre, les acides organiques, qui se consument dans le système circulatoire et contribuent à la production de la chaleur animale. Le résultat de ces expériences, c'est qu'une nourriture variée et abondante est nécessaire à l'entretien de la vie. Quoique les végétaux contiennent des matériaux azotés, la quantité en est si petite qu'un régime exclusivement végétal a pour résultat de diminuer le poids des individus, et d'amoindrir l'énergie musculaire. Un physiologiste fit des expériences sur lui-même; pendant dix jours consécutifs, il ne vécut que de végétaux, de bière et d'eau. Ces substances, prises à discrétion, ne l'empêchèrent pas de perdre 2k,8 de son poids. J'ai dit que l'homme devait prendre une nourriture abondante ; en effet, le corps doit trouver tout ce qui lui est nécessaire ; si l'on ne meurt pas quand l'alimentation devient insuffisante, la santé s'altère et place l'individu dans un état de faiblesse et de prédispositions fâcheuses aux diverses causes de maladies. Ne voit-on pas les maladies épidémiques et contagieuses exercer leurs ravages sur les individus débilités par le manque de nourriture. Si l'alimentation insuffisante ne cause pas une mort violente, elle est incontestablement la cause la plus efficace de la mortalité, et l'observation le prouve : sur 1000 individus nés au sein de l'aisance, 911 atteignent l'âge de quinze ans, tandis que sur 1000 individus pauvres, 584 seulement parviennent à cet âge.

Le sang de l'homme et des mammifères est constitué par deux parties différentes. L'une est liquide et transparente, c'est le *plasma;* l'autre est composée de petits globules solides qui nagent dans le plasma. On trouve dans le plasma du sang vivant, de la fibrine qui se coagule spontanément quand le sang est extrait des vaisseaux. Le caillot est composé de globules emprisonnés dans les mailles de la fibrine. Le sérum est la partie non coagulable du sang, c'est un liquide jaunâtre. Il y a deux sortes de globules dans le sang, les uns sont rouges, les autres blancs. Les globules rouges, chez l'homme et chez la plupart des mammifères, sont de petits *disques aplatis*, un peu renflés sur leur circonférence. Les globules rouges du sang de l'homme ont 0mm,005 à 0mm,006 de diamètre; ceux des mammifères sont un peu plus petits. Chez les oiseaux, les reptiles et les poissons, les globules rouges sont elliptiques. Le sang est vivant, car ses globules sont des cellules, constituées par une enveloppe renfermant un liquide visqueux. On donne le nom d'hématosine à la matière colorante des globules; cette matière contient du fer à l'état de sesquioxyde.

Dans 100 parties de matière colorante du sang, l'analyse donne les proportions suivantes de fer métallique :

Homme	6,93
Bœuf	8,90
Mouton	6,45
Poule	5,78

On trouve du fer en très-petite quantité dans toutes les cendres des végétaux, et il faut que les aliments de l'homme et des animaux en contiennent. On connaît l'action de ce métal administré dans les maladies par défaut de sang, telle que la chloro-anémie.

Les globules blancs que l'on rencontre dans le sang ne sont que les globules du chyle ou de la lymphe versés dans le torrent de la circulation par le canal thoracique. Le sang se compose essentiellement d'eau tenant en dissolution ou en suspension des principes albuminoïdes (tels que fibrines, albumine, globuline, hématosine), des principes hydrocarbonés (tels que l'oléine, la stéarine, la margarine, les oléates, les margarates et les matières sucrées) ; et des sels qui sont principalement des chlorures, des carbonates et phosphates à base de soude et de potasse.

Pour doser la fibrine, on bat avec un petit balai une quantité connue de sang : la fibrine se rassemble sous forme de filaments solides qu'on recueille, qu'on dessèche et qu'on pèse. Sur 1000 grammes de sang il n'y a guère que 2 ou 3 grammes de fibrine desséchée. Si l'on chauffe le sérum du sang à 70 degrés on obtient l'albumine qui se prend en masse. Sur 1000 grammes de sang, il y a en moyenne 78 grammes d'albumine desséchée.

Les matières grasses s'obtiennent en traitant par l'alcool et l'éther le résidu évaporé du sérum et du caillot. Quant aux sels on les obtient en incinérant séparément le sérum et les caillots desséchés et en pesant les cendres. On dose chaque sel par les procédés connus. Moyenne d'analyse du sang de l'homme :

Globule	14,00
Albumine	6,90
Fibrine	0,22
Matières grasses	0,16
Phosphate de soude, de chaux et de magnésie	0,68
Eau	78,04
	100,00

En prenant la moyenne d'un grand nombre d'analyses le sang de la femme contiendrait un peu moins de globules que celui de l'homme. Le sang renferme encore des gaz qui y sont à l'état de dissolution. Ces gaz sont de l'oxygène, de l'azote et de l'acide carbonique. L'oxygène provient de l'air atmosphérique; l'acide carbonique et l'azote résultent, comme nous le verrons, des oxydations et des métamorphoses de nutrition qui s'accomplissent dans l'économie. — Henry Amaury.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE NUMÉRO 23 5 MAI 1866

Paris, 4 mai 1866.

Lundi dernier, M. Dupuy de Lôme a été élu par 52 voix sur 56 votants pour remplir un des trois nouveaux fauteuils créés dans la section de géographie et navigation par le décret du 3 janvier 1866.

M. Fizeau a présenté un mémoire de M. Descloizeaux, relatif aux propriétés optiques des cristaux et aux modifications qu'éprouvent ces propriétés sous l'influence de la chaleur; M. Descloizeaux a déterminé notamment les déplacements des axes optiques dans les cristaux à deux axes sous l'influence des changements de température.— M. Ed. Becquerel fils a communiqué de nouveaux travaux sur les phénomènes thermo-électriques; il a reconnu qu'en remplaçant dans la pile thermo-électrique de Melloni le bismuth et l'antimoine par des alliages convenablement choisis, la sensibilité de l'appareil pouvait devenir près de vingt fois plus considérable. Deux piles de ce genre, construites par M. Ruhmkorf sur les indications de M. Becquerel, ont été mises sous les yeux de l'Académie.

Dans la séance précédente, M. Coste avait présenté un mémoire de M. Gerbe sur l'organisation des larves d'un certain nombre de crustacés, notamment des langoustes. M. Milne Edwards ayant fait remarquer que les résultats indiqués par M. Gerbe, relativement à la circulation de ces animaux, étaient entièrement conformes à ceux auxquels il était arrivé lui-même, il y a 38 ans, dans les travaux qu'il avait faits en collaboration avec M. Audouin, M. Coste répond que les travaux de MM. Milne Edwards et Audouin concernaient les animaux adultes, tandis que ceux de M. Gerbe se rapportent aux larves, lesquelles en diffèrent très-notablement par leur organisation, puisque M. Milne Edwards lui-même en avait fait autrefois des espèces et même des genres distincts. On ne pouvait donc pas conclure légitimement des uns aux autres sans observations nouvelles. M. Blanchard, tout en reconnaissant le mérite des travaux de M. Gerbe, ajoute que le système circulatoire qu'il a décrit en particulier chez les phyllosomes (larves des langoustes) avait déjà été observé chez d'autres crustacés et chez des arachnides, et que lui-même avait eu occasion de s'en occuper dans des mémoires déjà vieux de dix-huit ans. E. A.

SOIRÉES SCIENTIFIQUES DE LA SORBONNE.

CONFÉRENCE DE M. DE LUYNES.

La teinture.

Mesdames, messieurs,

La teinture est l'art d'appliquer sur les tissus les diverses matières colorantes que nous offre la nature, ou que l'industrie nous apprend à préparer.

Les expériences qui serviront de base à nos démonstrations exigent le concours de deux éléments qui nous manqueront en partie ce soir, la lumière et le temps. Nous tâcherons de suppléer à l'absence du jour au moyen de cet éclairage électrique que M. Bourbouze dirige avec tant d'habileté. Quant au temps, celui que vous voulez bien m'accorder est trop précieux pour que je songe à en abuser. Je vous prie donc de m'excuser à l'avance si, dans les essais que je vais tenter devant vous, je n'atteins pas des nuances aussi foncées que celles que l'on a l'habitude de voir, et de vouloir bien admettre pour cette conférence que ce qui peut le moins peut le plus.

La teinture diffère essentiellement de la peinture. Cette dernière ne s'applique qu'aux surfaces. Dans la teinture, au contraire, la matière colorante doit pénétrer dans l'intérieur du tissu et se répandre uniformément dans toute la masse. Elle doit, de plus, y être retenue avec assez de force pour qu'elle résiste aux diverses causes d'usure ou d'altération auxquelles elle sera soumise, telles que le frottement et l'action de l'eau, par exemple.

Ces conditions ne peuvent être réalisées que si la matière colorante est fixée dans le tissu à l'état insoluble.

Or, les matières colorantes sont insolubles ou solubles dans l'eau.

Si nous cherchons à fixer sur un tissu une matière colorante insoluble, elle ne pourra pas, sous cet état, pénétrer dans l'intérieur du tissu, elle restera à sa surface, et n'adhérera pas plus à l'étoffe que la poussière qui s'attache à nos vêtements; le plus léger frottement, le moindre souffle, suffiront pour l'en détacher.

Si nous plongeons un tissu dans une liqueur renfermant la couleur à l'état soluble, il paraîtra teint parce

Digitized by Google

qu'il sera imprégné de la liqueur colorée; mais par le moindre lavage, la matière colorante sera entraînée avec autant de facilité qu'elle s'y était introduite.

Comment donc pourrons-nous faire pénétrer dans l'intérieur du tissu une matière colorante insoluble; comment y retiendrons-nous à l'état insoluble une matière colorante soluble? C'est ce que je vais essayer de vous démontrer par quelques exemples.

La fleur du carthame renferme un principe colorant rose, la carthamine, tout à fait insoluble dans l'eau. Pour le détacher de la fleur, nous nous servirons d'une solution aqueuse de carbonate de soude, c'est-à-dire de l'eau de lessive ordinaire. Cette liqueur dissout la couleur, et l'on obtient ainsi cette solution brune qui ne peut pas servir directement à la teinture, puisque la matière colorante rose s'y trouve à l'état soluble. En ajoutant dans le vase un acide quelconque, du vinaigre, du jus de citron, le sel de soude sera neutralisé, et la carthamine se précipitera à l'état de liberté. Si, à ce moment, je plonge dans le liquide un écheveau de coton, la matière colorante s'y fixera, et le coton sera teint en rose. Vous voyez déjà l'intensité que prend la couleur, et la teinture résiste au lavage auquel nous soumettons ensuite le coton.

Non-seulement le coton se teint dans cette circonstance, mais il réalise une opération que le chimiste le plus habile et le teinturier le plus expérimenté ne parviendraient pas à exécuter; le coton sépare la carthamine de substances étrangères et jaunâtres qui se trouvent mélangées avec elle dans la fleur du carthame, et qui altèrent plus ou moins la pureté de sa nuance. Si donc nous traitons le coton par l'eau de lessive, nous pourrons en séparer la matière colorante comme nous l'avons tout à l'heure détachée de la fleur, et nous obtiendrons une solution jouissant des mêmes propriétés tinctoriales que la première, mais renfermant la carthamine dans un état de pureté beaucoup plus grand. C'est cette solution ainsi purifiée par l'intermédiaire du coton qui nous servira à teindre un tissu plus précieux que le coton, la soie. Vous voyez, en effet, cet écheveau de soie se teindre en rose lorsque je le plonge dans la liqueur préalablement saturée par l'addition du jus de citron; et vous comprenez pourquoi la teinture en rose de la soie par le carthame est d'un prix plus élevée que la teinture du coton, puisque la dernière se fait immédiatement, tandis que la première exige une double opération.

Voilà un premier exemple d'une teinture avec une matière insoluble réalisée en précipitant d'une de ses dissolutions la couleur insoluble en présence même du tissu qu'elle doit teindre.

J'ajouterai que le rose de carthame joue un certain rôle dans un genre particulier de teinture, ou plutôt de peinture, sous le nom de rouge végétal, il est employé à l'état de mélange avec le blanc de perle ou la craie de Briançon, et sert à fabriquer ce fard dont on se couvre le visage pour y faire apparaître une fraîcheur qui n'y existe plus, ou qui n'y a jamais existé.

Je choisirai, comme second exemple, la teinture au bleu de Prusse.

Ces deux verres renferment, le premier une solution de prussiate jaune de potasse, le second une dissolution de sulfate de fer. Ce dernier sel n'est autre chose que de la rouille dissoute dans l'huile de vitriol. Par leur mélange, ces deux liqueurs à peine colorées donnent naissance à une matière insoluble, bleue, d'une teinte tellement foncée, que de loin elle doit vous paraître noire. Cette couleur, dont la découverte, due au hasard, fut faite à Berlin, est connue sous le nom de bleu de Prusse.

Réalisons maintenant la même réaction dans le tissu lui-même; et pour cela, imprégnons d'abord le tissu d'une solution de sulfate de fer, et plongeons-le ensuite dans le prussiate de potasse, le composé bleu insoluble prenant naissance dans le sein même du tissu y restera en quelque sorte emprisonné, et le coton sera teint en bleu de Prusse. Vous voyez, en effet, que la teinture persiste malgré le lavage que je lui fais subir.

Le chromate de plomb qui se forme par le mélange de solutions de chromate de potasse et d'azotate de plomb peut être fixé en teinture par le même procédé et permet d'obtenir ainsi la teinture en jaune.

En effet, si je plonge dans une dissolution de chromate de potasse cet écheveau de coton qui a séjourné pendant un quart d'heure dans cette liqueur d'azotate de plomb, vous voyez se développer une teinte jaune intense, et qui ne disparaît pas lorsque je soumets le fil à l'action d'un courant d'eau énergique.

Voilà donc trois exemples qui vous montrent comment on peut teindre avec des matières insolubles roses, bleues et jaunes.

J'en ajouterai un quatrième qui a rapport à la teinture en noir. En mélangeant ce sulfate de fer que vous connaissez déjà avec une infusion de noix de galle, vous voyez la liqueur devenir noire par suite de la formation d'un composé extrêmement divisé qui reste en suspension dans le liquide; je viens de faire de l'encre ordinaire. Plongeons comme tout à l'heure cet écheveau de laine dans le sulfate de fer. Exprimons la liqueur en excès, et soumettons-la à l'action de l'infusion de noix de galle; la laine imprégnée d'encre sera teinte en noir; mais ce procédé ne permet pas d'arriver à des noirs suffisamment beaux, et c'est par l'emploi d'autres matières, du bois de campêche, par exemple, et des sels de cuivre, qu'on obtient généralement la teinture en noir.

Voilà donc trois couleurs, le rose, le bleu et le jaune que vous savez employer; mais le nombre de teintes que vous pouvez obtenir est bien plus considérable. En effet, en ajoutant à ces trois couleurs du noir en proportion variable, vous obtiendrez des teintes dégradées ou rabattues qui représenteront les tons différents de la même couleur. Mélangeons, par exemple, du noir en quantités croissantes à ce bleu, nous aurons des

Digitized by Google

teintes de plus en plus foncées dont la limite sera le noir; nous obtiendrons d'une manière semblable des mélanges de bleu et de blanc de moins en moins colorés jusqu'au blanc pur. De sorte que nous pourrons nous représenter l'intervalle compris entre le blanc et le noir comme rempli par une série de teintes dégradées renfermant du bleu, dont la proportion ira sans cesse en croissant. On serait porté à croire que le nombre des tons que l'on obtient est pour ainsi dire illimité; il n'en est rien. L'œil ne peut distinguer en général plus de quarante tons du blanc au noir; un œil très-exercé peut en distinguer cinquante ou cinquante-cinq, mais rarement ce nombre peut être dépassé.

Ce que nous venons de voir a rapport aux couleurs insolubles dans l'eau. Examinons maintenant comment on parvient à fixer les couleurs solubles dans ce liquide.

Pour arriver à ce but, nous nous servirons d'une propriété importante qu'elles possèdent, et que nous allons constater par l'expérience suivante :

J'ai placé dans ce flacon une matière gélatineuse qu'on appelle l'alumine. L'alumine est la base des argiles; c'est le minerai de ce beau métal, l'aluminium, dont les propriétés vous ont été décrites, dans ce lieu même, d'une manière si brillante, par un de nos plus illustres maîtres, M. Henri Sainte-Claire Deville.

Dans cet autre flacon se trouve une décoction de bois de Brésil; la matière rouge est dans un état de solution complet, car vous voyez qu'elle traverse avec la plus grande facilité ce filtre de papier sur lequel je la projette. Si je verse maintenant le liquide coloré sur l'alumine, et si j'agite, nous obtiendrons un mélange liquide dont la coloration ne paraît nullement changée; cependant la couleur du bois de Brésil, en se combinant avec l'alumine, a donné naissance à une substance insoluble qui n'est plus dissoute, mais seulement en suspension dans le liquide, et nous nous en assurerons en jetant le tout sur un filtre; la liqueur, qui tout à l'heure restait colorée, passe maintenant aussi incolore que de l'eau pure, tandis que toute la matière colorée reste sur le filtre combinée à l'alumine.

Le composé insoluble coloré qui se forme dans cette circonstance s'appelle une laque. L'alumine n'est pas la seule substance qui jouisse de la propriété de former des laques avec les matières colorantes; l'oxyde d'étain est dans le même cas, et même permet d'obtenir des laques plus brillantes.

Cela posé, imprégnons un tissu de laine d'oxyde d'étain, et plongeons-le ensuite dans une décoction de bois de Brésil; la laque qui se forme dans le tissu même, y retient la couleur à l'état insoluble, et le tissu est teint en rose. Vous voyez, en effet, que le lavage n'entraîne pas la couleur qu'il possède.

Les matières qui ont la propriété de s'unir aux couleurs pour former des laques portent en teinture le nom de mordants; un tissu qui en est imprégné est un tissu mordancé, et l'opération par laquelle on fixe un mordant constitue le mordançage des étoffes.

Maintenant que nous avons démontré par quels moyens on teint en employant des matières colorantes solubles ou insolubles, nous pouvons entrer dans quelques détails sur l'art de la teinture en général.

Les couleurs que l'on emploie en teinture se distinguaient autrefois en couleurs de *grand teint* et en couleurs de *petit teint*.

Les couleurs de grand teint s'appliquent sur les tissus destinés à un usage prolongé, et qui, par conséquent, doivent résister à l'usure. Ce sont celles qu'on emploie pour teindre les vêtements, les tapisseries, et comme elles sont employées surtout par les masses, il faut qu'elles présentent, outre la solidité, des conditions réelles d'économie. Donc, solidité et bon marché, voilà les qualités essentielles des couleurs de grand teint.

Nous choisirons, comme exemple de ce genre de couleur, l'indigo, cette belle matière colorante bleue qu'on prépare en exposant à l'air le suc de certaines plantes qu'on cultive surtout dans les Indes occidentales. L'indigo est insoluble dans l'eau et même dans toute autre espèce de liquide, à l'exception de cette huile de vitriol, de cet acide sulfurique dont je vous parlais tout à l'heure. Cependant on parvient à teindre en bleu au moyen de l'indigo par un procédé connu depuis longtemps, mais dont la théorie a été établie de la manière la plus nette par les beaux travaux de notre illustre maître, M. Dumas. Lorsqu'on met l'indigo en contact avec des substances qu'on nomme réductrices l'indigo, se décolore et se transforme en une matière incolore soluble qu'on appelle l'indigo blanc.

Nous avons placé dans ce flacon de l'indigo bleu pulvérisé avec de la chaux, du vitriol vert et de l'eau en quantité suffisante pour remplir le flacon tout entier. Nous avons agité à plusieurs reprises et nous avons abandonné le mélange au repos. La liqueur s'est éclaircie, et vous pouvez voir facilement que la liqueur possède une coloration à peine jaunâtre et qu'on serait bien éloigné de comparer à celle de l'indigo.

Tant que la liqueur sera soustraite au contact de l'air, elle restera incolore, mais si, débouchant le flacon, j'en laisse tomber une certaine quantité dans ce verre, la matière s'empare de l'oxygène de l'air, elle respire, en quelque sorte, et se transforme en indigo bleu insoluble dans l'eau. Réalisons cette transformation au sein d'un tissu, nous nous trouverons dans les conditions nécessaires pour obtenir une bonne teinture, puisque la matière insoluble prendra naissance dans le tissu lui-même. C'est, en effet, ce qui a lieu. Je retire d'un flacon semblable à celui dont je viens de me servir un tissu imprégné d'indigo blanc; il est à peine coloré au sortir du vase, mais la coloration ne tarde pas à se manifester, et vous la voyez devenir d'autant plus intense que le tissu a subi plus longtemps l'action de l'air, c'est-à-dire

Digitized by Google

sur les points du tissu les plus éloignés de l'orifice du flacon.

C'est ainsi qu'on teint en grand au moyen des cuves d'indigo; les tissus pénètrent incolores dans la cuve, s'y imprègnent d'indigo réduit et incolore, en sortent à peine colorés, pour reprendre, au bout de quelques instants, la belle coloration qui caractérise l'indigo.

Cette propriété qu'a l'indigo de se décolorer au contact des corps réducteurs ne lui appartient pas exclusivement. Un grand nombre d'autres substances colorantes la possèdent. L'orseille, dont je vous entretiendrai tout à l'heure, nous offre un nouvel exemple de ces réductions remarquables. Ce flacon renferme une liqueur tout à fait incolore, et vous n'hésiteriez pas à dire que c'est de l'eau pure, s'il ne s'attachait toujours quelque soupçon à tout ce qui se trouve entre les mains d'un chimiste. Nous avons là, en effet, à l'état latent, une matière violette d'une grande intensité; il suffit de répandre une certaine quantité du liquide dans ce verre pour se convaincre immédiatement de la riche coloration que l'action de l'air peut y développer.

A côté de l'indigo se placent d'autres matières colorantes de grand teint, la garance, par exemple. Mais les procédés auxquels on est obligé d'avoir recours pour l'application de cette matière colorante sont trop longs et trop compliqués pour qu'il me soit possible de les répéter ici. C'est encore à côté de ces couleurs de grand teint qu'on doit placer la pourpre des anciens. La pourpre présente même une propriété curieuse, que nous ne trouvons pas dans les matières précédentes. Le produit qui sert à la former existe à l'état incolore dans l'animal vivant, et ne se transforme en matière colorante qu'avec le concours de l'air et de la lumière. Cette transformation a été peu étudiée au point de vue chimique, mais dans un travail très-intéressant M. Lacaze-Duthiers a mis hors de doute l'influence de la lumière dans la production de la pourpre. Ce savant a même obtenu des épreuves photographiques en appliquant à la pourpre les procédés dont on se sert pour les autres substances photogéniques.

Après les couleurs de grand teint se placent les couleurs dites de petit teint. Les qualités qu'on recherche dans les couleurs de grand teint deviennent, pour ainsi dire, des défauts pour les couleurs de petit teint. Celles-ci, en effet, destinées à satisfaire la mode et la fantaisie, n'ont besoin ni de durée ni de solidité; au contraire, en durant peu de temps elles offrent au caprice de la mode un motif légitime de les renouveler souvent. Quant aux conditions d'économie, on ne doit pas en tenir compte; lorsqu'une couleur est jolie et qu'elle plaît, il faut se la procurer quel qu'en soit le prix. Nous ne demanderons donc à ces couleurs aucune de ces conditions d'économie et de solidité qu'on recherche dans les couleurs de grand teint. Comme couleur de petit teint, je vous citerai le carthame, ces bois de Brésil et de Campêche dont nous nous sommes déjà servi, le curcuma, le sulfate d'indigo.

Abordons maintenant le cas le plus général de la teinture, c'est-à-dire celui qui consiste à teindre un tissu en une couleur quelconque.

Pour vous montrer comment on peut arriver à ce résultat, nous prendrons, comme exemple de teinture, trois couleurs bien connues : la cochenille ammoniacale, c'est-à-dire l'encre rouge; le sulfate d'indigo, c'est-à-dire l'encre bleue; en y ajoutant le curcuma, nous avons à notre disposition trois matières bleues, rouges et jaunes, au moyen desquelles nous pourrons teindre avec la plus grande facilité.

Trempons ce tissu de laine mordancé à l'alumine dans ce bain de cochenille ammoniacale chaud, il en sort teint en rouge; vous voyez, en effet, qu'il ne se décolore pas par le lavage.

Une simple immersion du tissu dans la solution chaude de sulfate d'indigo nous permet d'arriver à la teinture en bleu sans le secours d'aucun mordant; en le plongeant ensuite dans l'eau l'excès de couleur est entraîné, mais une partie résiste au lavage et reste fixée sur le tissu.

Enfin, le curcuma nous permettra de teindre en jaune.

Ces trois couleurs, rouge, bleue, jaune, forment, en quelque sorte, la palette du teinturier. De même que le peintre en les associant convenablement sait produire toutes les teintes dont il a besoin, de même le teinturier en les mélangeant deux à deux, trois à trois, en proportions différentes, se procure toutes les nuances qui lui sont demandées.

Ces trois couleurs constituent les couleurs primitives, et de leur mélange deux à deux résulte ce que l'on appelle les couleurs composées. Ainsi en mélangeant du bleu et du jaune nous obtiendrons du vert; le jaune et le rouge donnent de l'orangé, le bleu et le rouge, le violet. Vous voyez donc, dès à présent, comment au moyen de ces trois couleurs on peut déjà obtenir six teintures différentes.

Si maintenant nous mélangeons ces trois couleurs, bleu, rouge, jaune, en proportions convenables, nous obtiendrons un mélange qui ne nous présentera plus aucune coloration spéciale, et qui sera d'un gris si foncé qu'il vous semblera presque noir; de sorte que par le mélange de ces trois matières tinctoriales on obtient un mélange dépourvu en quelque sorte de toute coloration.

Voici ce mélange tout fait; nous y plongeons le tissu, et il en sort teint en un gris foncé presque noir, qui n'a aucune analogie avec les matières premières qui ont servi à le fabriquer.

Ce résultat est singulier en ce qu'il est tout à fait différent de celui qu'on obtient en mélangeant les couleurs prismatiques correspondantes.

Nous allons projeter sur ce tableau un disque transparent recouvert des trois couleurs bleues, rouges et

Digitized by Google

jaunes, et illuminées par la lumière électrique; le disque est en repos et vous pouvez facilement apercevoir chaque couleur. Imprimons au disque un mouvement de rotation rapide; par suite de la persistance des impressions, vous percevez à la fois la sensation de ces trois couleurs et le disque vous paraît blanc. Vous voyez donc qu'en teinture le mélange des trois couleurs primitives donne du noir, tandis qu'on obtient du blanc par la réunion des couleurs élémentaires de la lumière solaire.

Vous comprenez, par ce qui précède, qu'à l'aide des trois couleurs primitives le teinturier peut reproduire non-seulement des teintes composées, mais aussi des teintes rabattues en y introduisant une proportion plus ou moins considérable de gris. En général, les tissus sont teints suivant des échantillons donnés à l'avance; le teinturier analyse la teinte de l'échantillon, il fixe ensuite la composition de son bain en ayant soin de se se tenir au-dessous du ton qui lui est demandé, et il y plonge le tissu qu'il compare de temps en temps à l'échantillon. Mais l'échantillon est sec, et le tissu est mouillé; ce qui le fait paraître plus foncé qu'il n'est réellement. Pour éviter cette cause d'erreur, le teinturier étale une partie du tissu sur son doigt, et en lui faisant subir une torsion assez forte, il en exprime le liquide de manière à donner à cette portion du tissu la même apparence que s'il était sec. Comme je le disais à l'instant, le bain étant au-dessous de l'échantillon, il y ajoute peu à peu de la couleur, et en se guidant sur l'échantillon il fait monter son bain jusqu'au ton demandé. Eh bien! en opérant de cette manière, si l'on donne une pièce d'étoffe à teindre en une même couleur, à dix ouvriers différents, il arrivera presque toujours que les dix pièces ne seront pas au même ton. Cela provient de ce que les ouvriers ne voient pas les couleurs de la même manière, et si l'on veut qu'une étoffe soit teinte exactement suivant l'échantillon, il faut s'adresser au chef d'atelier, parce qu'il est en général le seul qui voie bien les couleurs; car c'est précisément à cette faculté spéciale qu'il doit la position qu'il occupe.

Le chef d'atelier est en quelque sorte au milieu de ces ouvriers, ce qu'est le chef d'orchestre au milieu de ses musiciens. Ce dernier doit, en effet, pouvoir saisir des détails qui échappent à la plupart de ceux qui sont placés sous ses ordres. Dans l'atelier de teinture, le chef doit apprécier des différences de tons que ses ouvriers ne seraient pas capables de distinguer.

Ce défaut de la vue qui fait qu'on ne voit pas les couleurs telles qu'elles sont est, du reste, plus répandu qu'on ne le croit généralement. Certaines personnes sont même affectées dans l'organe de la vue d'anomalies singulières qui les empêchent d'apprécier les couleurs; les unes ne voient que le bleu et le jaune, et pour elles les autres couleurs sont absentes; d'autres ne distinguent pas le rouge du vert. Enfin, il y en a qui voient les couleurs d'une manière juste. Mais entre ces limites extrêmes, il y a un grand nombre de personnes auxquelles les couleurs apparaissent plus ou moins altérées. Cela vous explique certains effets qu'on a peine à comprendre au premier abord; c'est pour cela que plusieurs peintres copiant le même tableau ne donneront pas à leur copie le même ton qu'à l'original; ce n'est pas leur goût qu'il faut accuser, c'est leur vue. Certaines personnes semblent mal assortir entre elles et avec leur teint les couleurs des tissus qui composent leur toilette; cela tient encore à la même cause. Quand donc vous rencontrerez des personnes donc les vêtements offrent à votre vue un assortiment bizarre et déplaisant de couleurs mal combinées, soyez indulgents et pardonnez-leur, car elles ne *voient* pas ce qu'elles font.

Si le teinturier a souvent recours au mélange des couleurs primitives pour échantillonner les pièces qu'il doit teindre, nous devons dire que toutes les fois qu'il rencontre certaines couleurs composées toutes formées, il leur donne la préférence; car les teintes obtenues par la combinaison des couleurs simples sont toujours plus ou moins ternes, et leur éclat est bien moins vif que celui des couleurs semblables qu'on trouve toutes formées dans la nature ou dans l'industrie. Quelques exemples vont mieux nous éclairer à cet égard, que les explications que je pourrais vous donner.

Je vous ai dit qu'en mélangeant du bleu et du rouge on obtenait du violet; mais ce violet n'est jamais aussi beau que celui qui provient d'une matière tinctoriale fabriquée industriellement et qu'on appelle l'orseille.

L'orseille est une matière colorante qui se développe lorsqu'on fait macérer au contact de l'eau et de l'ammoniaque certains lichens qui croissent sur les côtes occidentales de l'Afrique. Cette substance violette résulte de la transformation d'un principe incolore, qu'on nomme l'orcine et que vous pouvez voir dans ce flacon. Placée dans les circonstances que je viens de vous définir, l'orcine en absorbant l'oxygène de l'air, se transforme en orcéine qui est la matière colorante principale de l'orseille. L'emploi de l'orseille en teinture est des plus simples. Il suffit de plonger la laine dans une décoction chaude d'orseille pour que la teinture s'effectue sans le secours d'aucun mordant.

Si l'orseille donne un violet plus beau que celui qui résulte des couleurs composées, le violet d'orseille a été à son tour détrôné par d'autres violets qu'on fabrique avec les goudrons du gaz. Ces violets appartiennent à la série des couleurs d'aniline préparées avec les produits de distillation du charbon de terre; ce qui me conduit à vous dire quelques mots de la préparation de ces couleurs, dont l'apparition a produit une véritable révolution en teinture, et a jeté le trouble dans certaines industries de préparation de matières tinctoriales, telles que la culture de la cochenille, par exemple.

Lorsqu'on soumet le charbon de terre à l'action du feu dans des appareils distillatoires, on obtient comme résidu du coke, qui est employé comme combustible, et le gaz qui sert à l'éclairage des villes et des habitations.

Digitized by Google

Mais comme produit intermédiaire, il se forme des substances liquides plus ou moins visqueuses constituant les goudrons du gaz, et qui pendant longtemps furent regardées comme une masse inutile et encombrante.

Les chimistes soumirent ces goudrons à un examen attentif, et parvinrent à en extraire un grand nombre de principes qui ont reçu bientôt de nombreuses et utiles applications.

Lorsqu'on soumet les goudrons à la distillation, il se sépare en premier lieu une liqueur plus volatile que les autres; c'est la benzine. Cette matière vous est bien connue; elle jouit de la propriété de dissoudre les matières grasses et sert à détacher les tissus qui en sont imprégnés.

Cette benzine par une série de transformations remarquables va nous conduire en quelque sorte à la préparation de toutes les couleurs.

Et d'abord cette benzine dont l'odeur si forte et si désagréable vous poursuit avec tant de persistance pour attester que la tache de votre vêtement n'existe plus, cette benzine sert à la préparation d'un parfum désigné sous le nom d'essence de mirbane ou de nitrobenzine. Il suffit pour cela de la mélanger avec de l'eau forte concentrée; il paraît s'opérer d'abord une simple dissolution; mais l'addition de l'eau précipite cette matière huileuse qui constitue la nitrobenzine, et qui, à cause de l'analogie d'odeur, sert à remplacer l'essence d'amandes amères dans la parfumerie commune.

Cette nitrobenzine mise en contact de ce sulfate de fer vulgairement appelé couperose verte, donne naissance à une réaction violente; la masse entre en ébullition, et en distillant le résidu, on obtient comme résultat de la transformation, une nouvelle substance tout à fait incolore lorsqu'elle est récemment préparée; c'est l'aniline; et arrivés à ce terme, nous nous arrêterons; car on peut dire que l'aniline est la mère de toutes les couleurs.

Prenons en effet cette aniline, plaçons-la dans un matras avec de l'acide sulfurique et du bichromate de potasse; au bout de quelque temps la liqueur se troublera, et si on l'abandonne à elle-même, jusqu'au lendemain, on trouvera au fond du vase un dépôt pulvérulent noirâtre qui, traité par l'esprit de bois, lui cède une belle matière violette qui se fixe sans mordants sur la soie et la laine; c'est le violet d'aniline que je vous citais il y a quelques instants, en vous entretenant de l'orseille.

Prenons encore de l'aniline, et chauffons-la dans ce petit ballon avec la moitié de son poids de liqueur fumante de Libavius (bichlorure d'étain); les deux liquides incolores se mélangent; bientôt une ébullition violente se manifeste; la masse se solidifie par suite de la formation de cristaux abondants qui tapissent l'intérieur du ballon; sous l'action de la chaleur, ces cristaux fondent; la masse liquéfiée verdit un peu, brunit; la teinte brune augmente d'intensité, et vous voyez déjà apparaître une coloration rougeâtre qui, d'ici à quelques secondes, aura acquis son maximum de développement. La couleur est préparée; en la versant dans ce verre, et la traitant par un peu d'alcool et de l'eau chaude, nous pourrons la fixer immédiatement sur cet écheveau de soie qui se trouve ainsi teint en rouge d'aniline plus connu sous le nom de rouge Magenta ou rouge Solferino.

Ce rouge d'aniline ne s'emploie pas à l'état brut comme je viens de le faire devant vous, on le purifie et on l'obtient alors à l'état de beaux cristaux verts, à reflets irisés qui constituent la matière à l'état de pureté. Pour vous donner une idée de son pouvoir tinctorial, j'ai répandu sur cette toile blanche un peu de poussière de rouge d'aniline solide; elle n'est pas visible, mais si je l'arrose avec de l'alcool chaud, elle se dissout, et vous pouvez juger l'intensité de la coloration produite par un poids à peine appréciable de cette couleur.

Voilà déjà deux couleurs obtenues au moyen de l'aniline; continuons. En chauffant pendant quelques instants ce rouge d'aniline avec l'aniline même qui sert à le produire, la matière devient violette, et en continuant l'opération pendant un temps suffisant, la masse deviendra complétement bleue; c'est ainsi qu'on obtient ce beau bleu d'aniline dont l'éclat et la pureté ne le cèdent en rien à celui du rouge, et qui possède même la propriété remarquable de conserver sa teinte à la lumière des lampes.

Là ne s'arrêtent pas les transformations de l'aniline. Placée dans des circonstances convenables, elle permet d'obtenir, outre les couleurs que je viens de vous citer, le vert, l'orange, le jaune, le noir; en quelque sorte toutes les couleurs de l'arc-en-ciel.

Bien que le jaune puisse dériver aussi directement de l'aniline, on le prépare ordinairement en traitant par l'eau forte cet acide phénique, qu'on extrait aussi du goudron du gaz, et qui est si connu aujourd'hui par ses propriétés antiputrides. On obtient aussi cet acide picrique dont le pouvoir tinctorial est si grand, que 1 gramme suffit pour teindre 1 kilogramme de soie, c'est-à-dire un poids mille fois plus grand que le sien.

Si la préparation de toutes ces couleurs est facile, leur emploi en teinture n'est pas moins simple. La laine et la soie se teignent directement sans mordant, par une simple immersion dans le bain coloré, de sorte que, si les couleurs dérivées du goudron de houille avaient été les seules connues jusqu'à présent, on pourrait dire que l'art de la teinture serait encore à créer.

Il me serait difficile de vous faire juger ce soir, avec l'éclairage dont nous disposons ici, de l'éclat réel de ces matières colorantes déposées sur des tissus; vous l'apprécierez mieux si je fais arriver sur ce tableau blanc un faisceau de lumière colorée par son passage à travers une auge de verre remplie de leurs dissolutions. Cette expérience vous donnera plus que toute autre l'idée de l'intensité et de l'éclat extraordinaire des couleurs d'aniline.

Digitized by Google

Telle est, mesdames et messieurs, la série des couleurs qu'on peut dériver de l'aniline; tels sont les faits sur lesquels je m'étais proposé d'appeler votre attention. Je n'ai pas eu la prétention de vous initier à tous les détails de cet art si intéressant; mon désir était seulement qu'en sortant d'ici vous en ayez, permettez-moi l'expression, une légère teinture. Mais lorsque nous voyons des applications si étendues, des procédés si féconds, qui donnent naissance à des industries nouvelles, nous devons nous demander quelle en est la source. Eh bien, ces découvertes ne se font pas subitement. Elles résultent des travaux persévérants qui ont été exécutés pendant de longues années sur les goudrons de houille. Et, si j'avais à vous faire l'historique de ces travaux, j'aurais à vous citer les noms des savants les plus illustres dans tous les pays. L'industrie, à son tour, s'empare, au jour de la maturité, des données de la science, et en fait sortir les résultats qui doivent lui donner un nouvel essor.

Il faut donc savoir rapporter à leur véritable source les découvertes dont nous sommes témoins; c'est aux études théoriques, c'est aux travaux du laboratoire que sont dues ces belles applications dont nous profitons aujourd'hui.

Je serais satisfait, mesdames et messieurs, si, en présence de pareils résultats, vous pouviez comprendre toute l'importance de ces études et rester convaincus que ceux qui s'y livrent dans leurs laboratoires servent à la fois et la science et leur pays.

DE LUYNES.

CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS.

CHIMIE AGRICOLE (1).

COURS DE M. BOUSSINGAULT
(de l'Institut).

Phénomènes physiques et chimiques de la respiration.

Le sang est continuellement en mouvement dans un système de canaux ramifiés dont le cœur est le centre. Le cœur est une cavité musculaire destinée à chasser par les artères, dans les organes, le sang qu'il a reçu par les veines. Il y a deux cavités à droite pour le sang noir et deux à gauche pour le sang rouge. Les cavités supérieures portent le nom d'*oreillettes;* les inférieures, de *ventricules.* L'oreillette droite recueille le sang des veines de toutes les parties du corps, excepté du poumon; le ventricule droit reçoit ce sang et le chasse dans le poumon. L'oreillette gauche reçoit le sang rouge qui lui est amené par les veines pulmonaires; ce sang passe dans le ventricule gauche qui le chasse par l'artère aorte dans toutes les parties du corps. Le volume du cœur a été comparé à celui du poing du sujet. On peut dire qu'il y a deux circulations ou deux cercles circulatoires simultanés : l'un commence au cœur gauche (oreillette et ventricule gauches), traverse les organes et revient au cœur droit (oreillette et ventricule droits); l'autre circulation commence au cœur droit et finit au cœur gauche. On donne au premier cercle circulatoire le nom de circulation générale, et au second de circulation pulmonaire. Le sang chassé par les artères va nourrir les tissus de l'organisme, en traversant les capillaires qui laissent passer à travers leur paroi la partie dissoute du sang et non les globules. La dimension des capillaires est telle, qu'une aiguille enfoncée dans la peau déchire des centaines de capillaires. Le sang après avoir cédé ses éléments nutritifs est altéré, c'est alors qu'il passe dans les veines, arrive dans le cœur droit qui le recueille et le chasse dans le poumon pour y subir le contact de l'air atmosphérique. Cette partie de la physiologie constitue le phénomène de la respiration qui n'est qu'une véritable combustion.

Le poumon est constitué par d'innombrables canaux qui se divisent, se subdivisent et se terminent dans des vésicules closes tapissées par une membrane muqueuse dans laquelle rampe un réseau sanguin très-développé. Ce réseau n'est séparé de l'air que par une mince couche d'épithélium qui n'a qu'un centième de millimètre d'épaisseur. Pour que la respiration s'accomplisse, il faut que l'air qui a été en contact avec le sang dans le poumon soit remplacé par une nouvelle quantité d'air pur. Les mouvements d'inspiration appellent cet air dans la cavité pulmonaire; les mouvements d'expiration l'expulsent; il en résulte un courant d'entrée et un courant de sortie qui se succèdent sans interruption.

Un adulte, bien portant, inspire par minute une certaine quantité d'air 18 fois, et l'expire 18 fois pendant le même temps. L'âge a de l'influence sur les mouvements respiratoires :

	Mouvements respiratoires.
Enfants nouveau-nés	44
A l'âge de 5 ans	26
Entre 15 et 20 ans	20
Entre 20 et 25 ans	18
Entre 25 et 30 ans	16
Entre 30 et 50 ans	18

L'exercice accélère les mouvements de la respiration : l'homme et les animaux après une course rapide sont haletants. Un cheval au repos ne respire que 10 fois par minute; une course au trot de 5 minutes élève ce nombre à 50; le galop pendant le même temps l'élève à 65. Il nous reste maintenant à étudier le phénomène chimique de la respiration et à en tirer des règles à suivre dans l'hygiène.

La respiration a pour but la transformation du sang veineux en sang artériel. L'air atmosphérique en contact médiat avec le sang veineux lui communique une partie de lui-même, lui enlève quelques principes et le rend apte à nourrir et à vivifier les organes. L'analyse nous apprend que l'air expiré est moins riche en oxygène que l'air inspiré. On remarque aussi que le premier contient plus d'acide carbonique que le second. Quant à l'azote, la proportion dans les deux cas ne varie pas d'une manière sensible. Le sang veineux de rouge brun qu'il était devient rouge vermeil et constitue le sang artériel. Cette coloration est due incontestablement à l'absorption de l'oxygène de l'air et au dégagement de l'acide carbonique dissout dans le sang veineux. On sait, depuis longtemps, qu'en agitant du sang veineux dans une atmosphère d'oxygène, le sang prend presque immédiatement la teinte

(1) Voy. les numéros 1, 2, 6, 8 11, 15, 21 et 22.

Digitized by Google

caractéristique du sang artériel. On sait aussi qu'en agitant du sang artériel dans une atmosphère d'acide carbonique, le sang devient foncé comme du sang veineux.

Il est facile, par une expérience bien simple, de reproduire le phénomène de la respiration. On prend une vessie de cochon, on la remplit de sang veineux et on la place sous une cloche contenant de l'oxygène. Au bout de peu de temps, on constate que de l'oxygène a passé dans le sang au travers de la vessie, et que de l'acide carbonique est sorti du sang et a passé dans la cloche. Il ne nous est pas permis d'assister dans le système capillaire général, comme dans le poumon, aux phénomènes chimiques qui s'y accomplissent, mais d'après les expériences que je viens de citer, on peut conclure que si le sang au sortir du système capillaire général est redevenu du sang veineux, c'est-à-dire rouge noir, c'est qu'il a perdu de l'oxygène par suite des combustions de nutrition. Lavoisier, en comparant la respiration à une combustion, a formulé de la manière la plus explicite la doctrine de la chaleur animale. Un animal peut réellement être considéré comme un appareil dans lequel s'opère une combustion, il s'en dégage constamment du gaz acide carbonique et de la vapeur d'eau, comme il en sort d'un fourneau où l'on brûle de la matière organique, du bois, par exemple; dans les deux cas il se produit de la chaleur, et la comparaison n'a rien d'exagéré. Tout animal élève la température de sa masse au-dessus de celle du milieu où il vit, et cet excès de température est proportionnel à l'activité de sa respiration. Nous verrons que l'analogie entre la combustion et la respiration se continue, car un animal ne peut pas toujours vivre dans le même volume d'air, il meurt comme la flamme qui s'éteint dans une atmosphère limitée après avoir brûlé une partie de l'oxygène de l'air et produit de l'acide carbonique.

Si l'on fait passer l'air qui a servi à la respiration au travers de l'eau de chaux, on voit naître un précipité de carbonate de chaux; par l'analyse de ce composé on peut connaître la quantité de carbone brûlé dans un temps donné. Un homme par minute fait seize inspirations et seize expirations. A chaque expiration il émet un demi-litre d'air, ce qui fait 480 litres par heure à la température de 15 degrés et à la pression de 0,76. L'air expiré contient 4 pour 100 d'acide carbonique, soit 18 litres d'acide carbonique à 0 degré et à la pression 0,76 pour les 480 litres d'air émis en une heure.

	gr.
1 litre d'acide carbonique pèse.....	1,98
18 litres d'acide carbonique pèsent.....	35,64

et contiennent 9gr,72 de carbone brûlé par heure, ou 233gr,3 en vingt-quatre heures.

On a d'abord fait des expériences sur les animaux pour déterminer la quantité d'acide carbonique exhalée dans un temps donné. Un oiseau était placé sous une cloche de verre en communication d'une part avec l'atmosphère, de l'autre avec un aspirateur d'une capacité connue. On faisait de temps en temps un appel d'air qui traversait plusieurs tubes contenant, le premier de la ponce sulfurique pour retenir la vapeur d'eau; le second, de la potasse qui arrêtait l'acide carbonique; le troisième, placé près de l'expirateur contenait aussi de la ponce sulfurique qui arrêtait la vapeur d'eau émise par l'aspirateur. Les tubes avaient été pesés d'avance avec leur contenu, après l'expérience l'augmentation de poids représentait la quantité de vapeur d'eau et d'acide carbonique fixés. On pouvait donc connaître la quantité de carbone brûlé dans un temps donné. M. Scharling a répété cette expérience sur un homme, un zouave, qui avait consenti à s'enfermer dans une grande caisse de bois remplaçant la cloche de verre. Il était assis et l'on pouvait prolonger l'expérience pendant deux heures. La caisse était percée de deux ouvertures; l'une laissait pénétrer l'air pur; l'autre laissait passer l'air vicié appelé par l'aspirateur. MM. Andral et Gavarret ont fait aussi un grand nombre d'expériences pour déterminer la quantité de carbone brûlé pendant la respiration. L'appareil qu'ils ont employé se compose de trois gros ballons de verre reliés entre eux par un tube commun. Avant de procéder à l'expérience, on fait le vide aussi loin que possible avec une pompe aspirante. Ensuite on ferme un robinet qui maintient le vide dans les ballons et l'on fixe à l'appareil un masque à l'aide d'un tube de caoutchouc. Ce masque, qui est hermétiquement appliqué sur le visage, est percé de deux trous dont l'un communique avec l'atmosphère et l'autre avec les ballons au moyen du tube commun. On laisse refroidir les ballons et l'on fait l'analyse des gaz qu'ils contiennent.

Carbone brûlé en une heure pendant la respiration.

	Pesant. kil.	Carbone brûlé. gr.
Fille de 10 ans.....	23	5,28
Garçon de 9 ans.....	22	5,63
Homme de 28 ans..	82	10,05
Homme de 35 ans.....	65	9,01
Le même, après déjeuner.....	»	10,81
Le même, endormi.....	»	6,22
Homme de 70 ans.....	»	9,60
Homme de 92 ans.....	»	8,80
Homme de 102 ans.....	»	5,90

On peut conclure de ces résultats qu'un homme produit des quantités variables d'acide carbonique aux diverses époques de la journée; qu'il en produit plus après qu'avant le repas; qu'un homme exhale une quantité d'acide carbonique plus grande que celle exhalée par la femme; les enfants, proportionnellement plus que les adultes, et enfin que l'homme adulte brûle en vingt-quatre heures 240 grammes de carbone.

Il était utile de savoir la quantité d'air que l'on devait donner aux bestiaux dans une ferme.

MM. Regnault et Reiset ont fait des expériences pour connaître la quantité de carbone brûlé pendant une heure par des brebis, des veaux, etc. Voici les résultats de plusieurs expériences :

Carbone brûlé en une heure.

	Pesant. kil.	gr.
Brebis de 6 ans.....	66	12,08
Veau de 5 mois....	62	10,67
Veau de 9 mois.....	115	17,93
Porc de 2 ans.....	135	16,31
Oie.....	5	0,81

Il y avait aussi un grand intérêt à connaître la quantité de carbone brûlé par une vache et par un cheval. La méthode précédente, qui consiste à faire respirer un animal dans une atmosphère que l'on peut analyser, est d'une application difficile pour ces gros animaux. On a dû avoir recours à une méthode indirecte. On a pesé l'aliment, puis on a recueilli les excréments et l'urine. Comme on savait la quantité de carbone, d'oxygène, d'hydrogène et d'azote contenue dans

Digitized by Google

l'aliment, il restait à déterminer par l'analyse la quantité de carbone contenue dans les excréments.

Carbone brûlé par un cheval en vingt-quatre heures.

Carbone contenu dans les aliments consommés...	3938
Carbone contenu dans les urines et les excréments.	1473
Carbone éliminé par la respiration	2465

produisant 9038 grammes d'acide carbonique. Le volume de l'acide carbonique était de 4 mètres 6 décimètres cubes contenant 4 mètres 6 décimètres cubes d'oxygène, représentant 22 mètres cubes d'air atmosphérique. Ainsi un cheval en vingt-quatre heures enlève tout l'oxygène qui se trouve dans 22 mètres cubes d'air.

Nous avons vu que l'homme consomme en vingt-quatre heures, 240 grammes de carbone qui, combinés avec l'oxygène sous forme d'acide carbonique donnent 880 grammes. Le volume de ce poids d'acide carbonique est de 447 litres, contenant 447 litres d'oxygène, représentant 2129 litres d'air atmosphérique. Si l'on enfermait un homme pendant vingt-quatre heures dans 2129 litres d'air on le trouverait mort; un cheval qui serait enfermé pendant le même temps dans 22 mètres cubes d'air, subirait le même sort. De plus, l'analyse apprendrait que cet air contient encore de l'oxygène en grande proportion. C'est qu'en effet, il ne suffit pas que l'air atmosphérique soit privé de tout son oxygène pour cesser d'entretenir la vie, mais qu'il en perde seulement une certaine quantité que l'expérience détermine. L'air atmosphérique normal est en moyenne composé de

20,93 volumes d'oxygène.
79,07 volumes d'azote.
100,00

Je suppose que l'on place un homme dans une atmosphère imitée, lorsque cet air ne contiendra plus que 19 pour 100 d'oxygène, la respiration sera déjà difficile; à 18 pour 100, on remarque un commencement d'asphyxie; à 14 pour 100, la mort surviendrait. Le même phénomène a lieu lorsqu'on fait brûler un combustible dans un espace restreint : une chandelle, par exemple, s'éteint lorsque l'air ne contient plus que 15 ou 16 pour 100 d'oxygène. Nous pouvons donc conclure de ces observations qu'il faut que l'air contienne une quantité déterminée d'oxygène pour que la respiration et la combustion se fassent complétement.

On a fait des observations sur l'air vicié des mines :

Sur 100 parties d'air on a constaté que les mineurs respiraient péniblement et que les lampes s'éteignaient lorsqu'il n'y avait plus que : 16,4 d'oxygène, 80,4 d'azote, 3,2 d'acide cabonique; et que l'atmosphère devenait asphyxiante pour 9,9 d'oxygène, 90 d'azote, trace d'acide carbonique.

Il faut à l'homme confiné dans l'intérieur de ses demeures 10 mètres cubes d'air par heure, ou 240 mètres cubes par vingt-quatre heures, pour éloigner toute chance fâcheuse de malaise ou de maladie. Nous avons fait des expériences dans une atmosphère dans laquelle on faisait arriver de l'acide carbonique extrait du carbonate de chaux. Nous avons pris une chambre de 22 mètres cubes dont toutes les ouvertures étaient calfeutrées; on avait disposé un carreau qui permettait de voir à l'intérieur. Au commencement de l'expérience on a mis dans cette chambre un chien, une grenouille, un verdier et une bougie, l'air avait alors sa composition normale; à la fin de l'expérience l'air contenait 30 pour 100 d'acide carbonique. Voici ce qui s'est passé :

	Après 7 minutes.	Après 15 minutes.	Après 25 min.	Après 45 minutes.
Chien.	Malade.	Très-souffrant.	»	Agonisant.
Bougie.	»	»	Éteinte.	»
Grenouille	»	»	»	Agonisante et énormément gonflée.
Verdier.	»	»	»	Mort.

J'ai fait remarquer que l'acide carbonique introduit dans la chambre était extrait du carbonate de chaux; on a recommencé l'expérience avec de l'acide carbonique obtenu par la combustion du charbon; dans ce cas tous les animaux sont morts en cinq minutes. En effet cet acide carbonique n'était pas pur, il contenait de l'oxyde de carbone dont l'action est très-délétère. C'était l'oxyde de carbone qui avait tué les animaux et non l'acide carbonique. L'action toxique de l'oxyde de carbone paraît se rattacher à la propriété qu'a ce gaz de déplacer instantanément l'oxygène des globules du sang et de ne plus pouvoir être déplacé à son tour par l'oxygène introduit par la respiration.

Il faut faire disparaître l'odeur *sui generis* que l'on trouve où les hommes sont assemblés, car indépendamment de l'acide carbonique exhalé l'air contient encore des matières organiques provenant de l'expiration et de l'exhalation cutanée; ces matières peuvent par des altérations ou transformations donner naissance à des miasmes. L'hôpital Beaujon donne 45 mètres cubes d'air par heure à chaque malade; il en faudrait 67 pour ne pas avoir d'odeur.

Le défaut du renouvellement d'air dans des locaux non ventilés et d'une capacité insuffisante a souvent amené les accidents les plus redoutables. En 1766, pendant la guerre des Anglais dans l'Indoustan, 146 prisonniers de guerre furent enfermés dans une salle de vingt pieds en carré : au bout de douze heures, 23 seulement sortirent vivants. A Austerlitz on mit un grand nombre de soldats dans une cave, 315 périrent asphyxiés. — Henri Amaury.

MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE.

ZOOLOGIE

(Annélides, Mollusques, Zoophytes).

COURS DE M. LACAZE-DUTHIERS.

V.

M. Valenciennes.

Nous avons vu, dans les leçons précédentes, ce qu'ont fait pour la science et l'enseignement spécial qui leur était confié, de Lamarck et de Blainville. Aujourd'hui, M. Lacaze-Duthiers se propose de passer en revue les travaux du profes-

(1) Voyez les numéros 16, 18, 19 et 22.

Digitized by Google

seur qui occupa le dernier la chaire des Annélides, Mollusques et Zoophytes, de faire connaître et d'apprécier les services que M. Valenciennes a rendus au Muséum et à la zoologie.

« Ce n'est pas sans quelques difficultés, dit M. Lacaze-Duthiers, que l'on peut juger son prédécesseur, celui dont on a été le suppléant. Aussi, j'en suis convaincu, vous comprendrez toute la délicatesse de ma position, et vous en tiendrez compte. Personnellement, j'ai peu connu M. Valenciennes. Nos rapports n'ont été et ne pouvaient être que ceux qui existent entre un homme haut placé dans la science, puisqu'il appartenait à l'Institut, et un homme appelé à l'honneur de le suppléer. »

Des opinions fort opposées ont été émises sur M. Valenciennes, on l'a fort diversement jugé. Sachant peu déguiser sa pensée, avec des dehors quelquefois pleins de brusquerie, il avait dû s'attirer des critiques vives qui auraient pu faire croire à des inimitiés contre lui. Il rencontra des personnes qui se conduisirent à son égard comme de véritables ennemis, cherchant toutes les occasions de l'attaquer et de lui faire de la peine. Mais aussi, comme contre-partie, il a eu les amis les plus dévoués et les plus illustres; il suffit de citer de Humboldt, Cuvier, Arago.

M. Valenciennes est un enfant du Muséum. Il naquit en 1794. Il était le fils d'un aide-naturaliste de Daubenton. Son intelligence le fit remarquer de Fourcroy, qui obtint son entrée au collége de Rouen. Il avait déjà remporté le grand prix de mathématiques, et se préparait à l'École polytechnique, quand son père mourut, laissant sans fortune une veuve et quatre filles. « Le Muséum conserva le logement » à la veuve, et offrit au jeune Valenciennes une place de » simple préparateur. Sans hésiter, celui-ci sacrifia ses espé- » rances d'avenir aux devoirs du présent. Il abandonna ses » perspectives presque assurées, pour venir au Jardin des » plantes empailler des oiseaux et des mammifères, tout en » abandonnant à sa mère et à ses sœurs les faibles appointe- » ments attachés à ce travail. »

Ainsi s'exprimait M. de Quatrefages sur la tombe du confrère regretté qu'il avait beaucoup connu et aimé. On voit que le dévouement et l'abnégation marquèrent l'entrée de M. Valenciennes dans la carrière zoologique.

Il fut d'abord préparateur de Geoffroy Saint-Hilaire; mais celui-ci ne tarda pas à reconnaître que l'intelligence du jeune zoologiste le destinait à une position plus élevée.

Il le proposa donc à de Lamarck pour le seconder dans ses travaux. A cette époque, ce grand naturaliste commençait son ouvrage des *Animaux sans vertèbres*. Valenciennes l'aida dans le classement des Zoophytes et des Mollusques. Mais il n'en continuait pas moins à étudier sous la direction de Geoffroy Saint-Hilaire les animaux vertébrés, et particulièrement les Mammifères.

A peu près à la même époque, Cuvier publiait le *Règne animal*. Cette importante publication nécessitait la détermination et le classement de la collection des oiseaux. C'est encore M. Valenciennes qui fut chargé de ce travail considérable, et beaucoup d'échantillons portent des étiquettes écrites de sa main. C'est à ce moment que commencèrent entre Cuvier et lui ces rapports qui ont produit un des ouvrages d'histoire naturelle les plus importants, fruit d'une étude longue et assidue.

A cette même époque, M. Valenciennes fut nommé aide-naturaliste du comte de Lacépède. Il fut, par cette position nouvelle, forcé de se livrer à l'étude des Reptiles et des Poissons.

Un premier trait frappe donc dans cette vie du jeune naturaliste, c'est l'universalité de son travail. Dès qu'il commence à s'occuper de zoologie, il aborde à la fois l'étude de ses diverses branches. Il mène de front la mammalogie et l'ornithologie avec Geoffroy Saint-Hilaire et Cuvier, l'erpétologie et l'ichthyologie avec Lacépède, l'étude des animaux invertébrés, des Zoophytes et des Mollusques avec de Lamarck.

Il était doué d'une mémoire prodigieuse, sans laquelle il n'eût pu suffire à tant de travail. Il retenait avec une facilité merveilleuse les noms des genres et des espèces, et savait, avec une habileté singulière, retrouver au milieu des collections les objets dont il avait besoin. Cependant il ne faut pas oublier qu'à l'époque où Valenciennes s'occupait ainsi de toutes les branches de la zoologie, les collections n'étaient pas ce qu'elles sont aujourd'hui. Les bâtiments actuellement consacrés aux collections zoologiques suffisaient alors à tout ce que possédait le Muséum y compris la minéralogie et la géologie. Mais nous n'en devons pas moins reconnaître que, pour acquérir la connaissance d'une telle quantité d'objets, il fallait être très-heureusement doué.

On peut dire que M. Valenciennes était de l'époque où l'on faisait le *Règne animal*, et qu'à l'exemple des grands naturalistes d'alors, il s'était mis à étudier l'ensemble des animaux; aussi possédait-il des connaissances variées sur les diverses parties de la zoologie. C'est l'universalité de ces connaissances qui faisait dire de lui à bien des savants étrangers, qu'il était un des hommes de France avec qui il était le plus facile de parler également de toutes les branches de la zoologie. Et cette appréciation est parfaitement exacte. M. Valenciennes était un des zoologistes français dont le savoir était à la fois le plus varié et le plus étendu.

Mais après cet éloge sans réserve, que personne ne saurait contester, il est permis de trouver dans cette variété de recherches le sujet, sinon d'une critique, du moins d'une observation. Il est à regretter que M. Valenciennes ait trop étendu ses études et ses recherches; car ce n'est qu'en se spécialisant, en zoologie, qu'on peut espérer concourir plus sûrement à l'avancement de la science, trop vaste aujourd'hui pour pouvoir être abordée en détail dans son ensemble. M. Lacaze-Duthiers reviendra, du reste, sur cette idée, en appréciant d'une manière générale les travaux des professeurs qui ont successivement occupé cette chaire.

A la mort de Lacépède, M. Valenciennes se trouva devenir l'aide-naturaliste de M. Duméril. C'est alors que Cuvier, qui commençait son *Histoire naturelle des poissons*, se l'adjoignit comme collaborateur.

M. Valenciennes a beaucoup travaillé à cet ouvrage, et la part qu'il prit à sa publication reste comme un de ses titres scientifiques les plus considérables. Vingt volumes de cette œuvre importante ont paru, et ces vingt volumes ne renferment que l'histoire naturelle des poissons osseux. Il faut regretter que l'histoire des poissons cartilagineux n'ait pu être publiée, car les connaissances de M. Valenciennes en ichthyologie étaient considérables. Avec la prodigieuse mémoire dont il était doué, il avait recueilli un grand nombre d'observations de toutes sortes sur ces animaux; personne mieux que lui n'en pouvait faire une étude complète. — Jules Haime, dit M. Lacaze-Duthiers, qui, pour ses travaux sur les polypiers, entrepris de concert avec M. Edwards, avait eu de

Digitized by Google

nombreux rapports avec M. Valenciennes, me répétait bien souvent : « Le nombre des faits relatifs aux mœurs et à l'organisation des poissons que possède M. Valenciennes est immense, il me semble augmenter à mesure que je m'entretiens plus souvent avec lui. »

Le plus grand nombre des volumes de l'*Histoire naturelle des poissons* est certainement l'œuvre de M. Valenciennes, et personne ne peut lui contester la part considérable qu'il a prise à cette importante publication. A partir du neuvième volume, publié après la mort de Cuvier, il doit être considéré comme le seul auteur de l'ouvrage, car on ne peut supposer que Cuvier ait laissé un pareil manuscrit sur cette matière. Parmi les huit premiers, quelques volumes sont même entièrement de M. Valenciennes, le septième entre autres.

Mais, tout en réclamant, et avec raison, la part qui lui était due, M. Valenciennes n'en conservait pas moins une grande vénération, et le plus pieux attachement pour celui qu'il aimait à appeler son maître. Il vénéra, jusqu'en ses dernières années, la mémoire de ce grand naturaliste, et c'était pour lui comme un titre de gloire que de s'en dire l'élève. Il l'était en effet, et si l'on veut bien juger ses travaux, il ne faut pas oublier cette admiration qu'il professait à l'égard de Cuvier.

Cuvier avait imprimé à l'étude de la zoologie une direction générale qui le guidait dans toutes ses recherches; et cette direction se retrouve, peut-être même exagérée, dans les travaux de M. Valenciennes.

On connaît la mémorable discussion qui sépara Cuvier et Geoffroy Saint-Hilaire. Sans entrer ici dans de grands détails à ce sujet, il est bon de la rappeler, car elle explique la tendance générale qui a toujours guidé M. Valenciennes.

Cuvier, esprit précis et clair, examinant sévèrement les faits et les admettant seuls à concourir aux progrès de la science, s'était un peu raillé de ce que l'on avait appelé les lois de l'organisme, de l'anatomie et de la zoologie philosophiques.

De son côté, Geoffroy Saint-Hilaire acceptant toutes les idées générales, et trop souvent spéculatives, venues d'Allemagne, interprétait les faits dans un sens purement synthétique; il n'avait ni la précision, ni la clarté de Cuvier, et s'en souciait peu; entraîné par son imagination, il faisait des théories quelquefois difficiles à soutenir.

Deux hommes aussi différents ne pouvaient se rencontrer sur le même terrain sans que des dissidences ne se produisissent entre eux. C'est en effet ce qui eut lieu, et en 1830, comme l'a dit le fils d'Étienne Geoffroy, la discussion avait pris de telles proportions qu'elle occupait quelques esprits d'Allemagne beaucoup plus que la Révolution elle-même.

Comme il advient en toute discussion, plus elle dure et plus la divergence augmente entre les parties en présence; de telle sorte que si, au point de départ, on était près de s'entendre, après avoir argumenté longtemps pour et contre, on finit par se trouver plus loin de l'accord et de la conciliation qu'en commençant le débat.

C'est ainsi qu'au début de la discussion Cuvier avait dit : *Les faits restent et les théories passent.* Ces paroles sont l'expression de la vérité, si les théories sont des rêveries, produits de l'imagination, si elles ne sont que des interprétations faites en vue de démontrer des idées conçues à priori. Du côté de Cuvier était donc la vérité, et tous auraient dû accepter alors un aussi sage avis.

Mais la discussion vint, amenant comme toujours l'exagération. Cuvier laissa alors entendre qu'*il n'y avait que des faits*, que les faits seuls avaient de la valeur. C'était exagérer un principe vrai; la divergence, qui augmente toujours avec l'ardeur de la polémique, avait amené ce fâcheux résultat.

M. Valenciennes, élève préféré et ami de Cuvier, avait, à l'époque où il travaillait avec lui, pris intérêt à cette discussion. Il en était resté dans son esprit une opinion bien arrêtée que peuvent caractériser ces paroles de Cuvier : *il n'y a que des faits.* A l'exemple de son maître, exagérant même ses opinions, l'élève ne voulait admettre que les faits; seuls ils pouvaient, selon lui, faire progresser la science, et l'on devait rejeter toute théorie comme ne pouvant qu'en retarder ou en embarrasser la marche.

Ce n'est pas dans quelques écrits ni dans quelques paroles que l'on peut trouver la direction générale de l'esprit des hommes; c'est dans l'ensemble de leurs travaux qu'il la faut chercher. Or, Cuvier nous a montré qu'il y a autre chose que les faits dont il faille tenir compte, et que sans s'en tenir à une observation sèche et aride, l'interprétation des choses observées pouvait conduire aux plus vastes conceptions. Les théories passent, disait-il, et il avait raison; celles qu'il a faites sur les révolutions du globe et les créations successives ont eu ce sort commun; elles sont tombées devant la discussion et l'examen quand il ne fut plus là pour les soutenir de sa science et de son autorité. Cependant, quand il créait la paléontologie, quand il cherchait et appliquait les lois vraies de la corrélation des formes et des parties pour la reconstruction des animaux perdus, il le faisait avec logique et précision, avec un art admirable. Mais en posant ces lois, n'était-il pas bien loin de ce précepte absolu : *il n'y a que des faits?*

Cuvier avait donc exagéré une chose vraie en principe, mais heureusement pour sa gloire et l'intérêt de la science, il n'a pas toujours mis en pratique le conseil qu'il donnait.

M. Valenciennes a peut-être, disions-nous, exagéré encore l'exagération de Cuvier. Il a limité ses travaux à l'observation rigoureuse des faits : aussi, avec sa prodigieuse mémoire, a-t-il recueilli des documents sans nombre qui, malheureusement, sont pour la plupart restés inédits. Il savait beaucoup, mais il ne coordonnait pas en corps de doctrine les fruits de ses nombreuses observations.

M. Lacaze-Duthiers se propose d'examiner maintenant les principaux travaux de M. Valenciennes qui sont relatifs à l'enseignement spécial de la chaire des Mollusques, Annélides et Zoophytes. N'oublions pas, si nous voulons bien juger ces travaux, que les idées exagérées de Cuvier sur la valeur des faits furent pour M. Valenciennes une règle de conduite dont il ne crut jamais devoir s'écarter. N'oublions pas non plus la multiplicité des études premières du jeune naturaliste. Souvenons-nous que jusque dans ses dernières années, le savant professeur s'est occupé des différentes branches de la zoologie et même de la zoologie paléontologique.

Voyons d'abord les travaux de M. Valenciennes ayant trait au groupe des Mollusques.

Ces travaux peuvent se diviser en trois ordres : ce sont des recherches d'anatomie, ou bien des travaux de description, c'est-à-dire la classification ou la création d'espèces et de genres nouveaux recueillis par les voyageurs; ce sont enfin des travaux se rapportant à la composition chimique de certains éléments de l'organisation.

On trouve d'abord ses recherches sur l'unité ou la simplicité des branchies chez les Lucines et les Corbeilles.

Les Acéphales ou Mollusques bivalves sont appelés *Lamellibranches* en raison même de la forme de leurs branchies. Si

Digitized by Google

l'on prend une huître ou une moule, on voit de chaque côté de la masse du corps de l'animal une série de replis particuliers, en forme de feuillets délicats : ce sont les branchies. Ces branchies sont formées par quatre lamelles fixées à la partie dorsale du corps, qui descendent parallèlement à la surface de la coquille et du manteau; mais ces quatre feuillets se replient, les deux internes vers l'axe du corps de l'animal, les deux externes, au contraire, vers le manteau ou la coquille. Ainsi sont constitués en réalité huit feuillets branchiaux adossés deux à deux, au nombre de quatre de chaque côté du corps; parmi ces quatre, deux sont situés au milieu et adhèrent au corps de l'animal, les deux autres sur les côtés remontent du bord libre des deux précédents vers la partie supérieure, mais en sens contraire, l'interne en dedans vers l'axe, l'externe en dehors vers la coquille.

Telle est la disposition des branchies observée dans la grande majorité des cas. Cette disposition semblait constante chez les Mollusques acéphales. Mais le mode de soudure, la longueur, la couleur et les autres caractères des filaments qui, rapprochés et unis, constituent les lames qui viennent d'être décrites, présentent des variétés sans nombre.

Ainsi, dans le *Pecten Jacobæus*, les branchies sont constituées par des filaments libres tellement délicats, qu'elles sont rarement intactes, et que la forme lamellaire ne peut être observée que sur l'animal vivant.

Dans l'*Anodonte des Cygnes*, ces filaments forment un véritable réseau, car ils sont unis par des traverses qui passent de l'un à l'autre. Chez ce Mollusque, les deux feuillets branchiaux réfléchis, et qui devraient rester libres, s'attachent par leur bord supérieur, le feuillet externe au manteau, le feuillet interne au corps, et ainsi se trouvent formées de chaque côté quatre lames unies deux à deux par leurs deux extrémités, libres sur toute leur surface.

Il était nécessaire de rappeler ces faits pour juger des différences d'organisation présentées par les *Lucines*.

Chez elles, en effet, comme chez les *Corbeilles* et même quelques *Tellines*, M. Valenciennes a trouvé qu'il n'existait qu'une seule branchie formée par une lame directe et une lame réfléchie, et souvent même cette branchie n'existe réellement que d'un seul côté du corps; de l'autre côté elle est atrophiée. En étudiant le genre *Leguminaria*, il a observé que, de chaque côté du corps, les branchies n'étaient plus représentées par une lame, mais par un double bourrelet. De ces faits il a conclu que le mot de *Lamellibranches* ne pouvait plus être employé pour désigner le groupe des Acéphales. Mais il semble que cette opinion est un peu absolue si l'on considère que la forme de lame est la plus générale, et que toutes les autres formes ne sont que des exceptions.

On peut constater, à propos de cette modification au plan général d'organisation des Acéphales, combien est grande la valeur du précepte d'Aristote : *le meilleur moyen de connaître les choses est de les voir venir*. La méthode dont M. Lacaze-Duthiers ne cessera de conseiller l'emploi, a fourni encore ici l'explication et fait connaître le mode de production de cette disposition particulière des branchies chez les Lucines.

En effet, si on observe le développement de la Moule comestible, on la voit d'abord composée d'une masse splanchnique, du pied qui fait saillie en avant de cette masse, et du manteau qui la protége. Bientôt apparaissent de chaque côté, et symétriquement disposés en séries, de petits cylindres qui ne sont autre chose que les filaments branchiaux. Puis ces petits cylindres se soudent par leurs extrémités et forment une lame de chaque côté du corps. Cette formation marque une première période dans le développement des branchies.

Dans une seconde période, cette lame pousse en dedans une deuxième série de filaments qui remontent de chaque côté vers le corps de l'animal. C'est l'origine du deuxième feuillet. Dans la troisième période, au point d'insertion sur le corps de la première lame formée, et à sa partie externe, naît une troisième série de filaments qui descendent de la partie supérieure de l'animal. Ces filaments, unis en lame à leur tour, se réfléchiront en dehors, comme les premiers apparus se sont réfléchis en dedans, et ainsi sera formé le quatrième feuillet branchial, dans une quatrième période du développement de l'ensemble.

Cette rapide analyse de ces faits importants d'embryogénie, montre que les Lucines et les Corbeilles sont des Acéphales Lamellibranches, dont les branchies ont été frappées d'un arrêt de développement. Si l'on suspend la croissance de la moule à un moment donné de sa vie, alors que deux feuillets branchiaux seulement sont formés de chaque côté du corps, on pourra représenter en quelque sorte la forme et la disposition des branchies des Lucines. Par ces observations, M. Lacaze-Duthiers a donc démontré l'excellence du précepte d'Aristote et la nécessité des recherches embryogéniques si l'on veut bien juger les détails d'organisation et en apprécier la valeur.

Un autre travail important de M. Valenciennes relatif aux Mollusques, c'est la monographie de la *Panopeaaustralis*.

L'animal, fort peu connu encore, de cette coquille, fut apporté par des officiers de marine qui avaient été frappés de la rapidité avec laquelle il s'enfonce dans le sable.

On sait que beaucoup de Lamellibranches vivent ainsi en quelque sorte enfermés dans le sol, et qu'ils s'alimentent, se nourrissent et respirent à l'aide de longs siphons formés par la soudure de leur manteau qui se prolonge en forme de tube. La Panopée est un Lamellibranche qui présente cette disposition : deux longs siphons vont puiser dans l'eau de la mer les aliments nécessaires à l'animal, et les principes indispensables à sa respiration; ce sont ces siphons que les marins rompaient en voulant retirer l'animal du sable où il vit enfoncé. Cette particularité, qui s'observe non-seulement dans les mers australes, mais aussi sur nos côtes, partout où il y a un Acéphale qui s'ensable, avait piqué la curiosité des marins, et elle les détermina à découvrir l'animal en fouissant le sol de la grève. C'est ainsi que des individus rapportés en France devinrent l'objet des études de M. Valenciennes.

L'attention, portée plus directement sur l'animal de la Panopée, montra bientôt qu'il y avait lieu aussi d'en revoir les espèces. C'est le travail qu'entreprit encore M. Valenciennes qui, dans une revue descriptive de ce genre, porta le nombre des espèces de trois à quinze.

En résumé, son mémoire sur la *Panopea australis* est une excellente monographie que l'on devra toujours consulter quand on s'occupera de ce groupe d'Acéphales.

Disons encore que M. Valenciennes a fait, en commun avec M. Fremy, d'importantes recherches comparatives sur la composition chimique des coquilles.

Arrivons aux travaux qui ont rapport au groupe des Zoophytes. Nous aurons encore ici à regretter cette grande activité qui portait M. Valenciennes à s'occuper de recherches si diverses et si nombreuses.

Nous trouvons d'abord un important travail sur les Gorgones. M. Lacaze-Duthiers a déjà eu l'occasion de l'analyser

Digitized by Google

l'an dernier. Il a montré que M. Valenciennes avait fait faire un progrès réel à l'étude de la zoophytologie en cherchant ailleurs que dans les caractères extérieurs les bases de la classification de ces nombreux animaux. Où prendre en effet le critérium qui puisse servir de guide dans la distinction des espèces? La forme extérieure, le port, la couleur, les tubercules, suffisent bien dans certains cas pour les distinguer, mais, dans beaucoup de circonstances, ces caractères extérieurs ne pourront être d'aucune utilité. M. Valenciennes a voulu prendre ailleurs que dans la particularité de la forme et de l'aspect la base nécessaire de sa classification. Il pénètre dans l'organisation et s'assure d'abord de la composition chimique de l'axe. C'est ainsi qu'il arrive à faire deux grandes divisions dans l'ensemble des Gorgones : dans l'une, il place les Gorgones dont l'axe fait effervescence et par conséquent est composé de calcaire; dans l'autre, celles qui ne font pas effervescence, celles dont l'axe est corné.

Il prend ensuite les éléments particuliers de l'écorce, ces petites particules calcaires que l'on appelle *spicules* ou *sclérites;* il en observe les diverses formes et les emploie comme moyens de spécification.

Malheureusement, ces études ont toutes été faites sur les échantillons des collections et non pas sur des individus vivants. Les caractères fournis en quelque sorte par le squelette de ces animaux ne peuvent être suffisants pour leur diagnose : il y a quelque chose de plus à faire; aussi quelques-uns des résultats peuvent-ils être critiqués avec beaucoup de raison.

Mais sans s'arrêter aux détails, il faut voir dans ce travail de M. Valenciennes l'indication d'une nouvelle voie à suivre pour arriver à la spécification; c'était l'application nouvelle des caractères profonds, des éléments histologiques, à la détermination des espèces; c'était l'étude plus étendue de tout l'ensemble de l'être substituée à la description pure et simple des caractères extérieurs. Il y avait là un progrès réel. Malheureusement, après avoir annoncé dans une courte note insérée aux comptes rendus de l'Académie des sciences un mémoire détaillé sur cette importante question, M. Valenciennes, occupé d'autres recherches, n'a pas mis en pratique, pour la diagnose particulière de chaque espèce des Gorgones, les faits généraux qui pouvaient et devaient découler de ses observations.

Mais c'est surtout quand on examine le travail entrepris sur les Éponges que l'on est amené à regretter que M. Valenciennes n'ait pas publié le résultat de ses recherches sur ce sujet.

La collection d'Éponges du Muséum est immense. De Lamarck avait pris les caractères de la forme extérieure pour guide dans sa classification de ce groupe : c'est ainsi qu'il distingua les Éponges en forme de cratères, d'éventail, etc. C'est sur ces seuls caractères extérieurs qu'il s'était basé pour dénommer et déterminer les espèces multiples du genre *Spongia* qu'avait créé Linné.

Bientôt on comprit l'insuffisance du seul genre *Spongia*. Des travaux d'une grande importance avaient en effet été entrepris depuis longtemps déjà sur ces êtres aussi singuliers que difficiles à bien connaître : avec ces travaux, les genres et les espèces s'étaient multipliés.

C'est alors que M. Valenciennes conçut l'idée de faire l'histoire des Éponges de la collection du Muséum.

Il chercha d'abord à employer les spicules et leurs diverses formes pour ce travail de classification. Puis il fit dessiner les plus beaux échantillons afin d'en publier des figures caractéristiques, qui permettraient de reconnaître les genres nouveaux qu'il créait, par la reproduction fidèle de leurs caractères et non plus par une description courte et le plus souvent insuffisante.

Les magnifiques vélins que M. Valenciennes a fait exécuter montrent toute l'importance de ce travail, et font d'autant plus regretter qu'il n'ait pu être achevé. M. Valenciennes a étiqueté de nombreux échantillons et leur a donné des noms nouveaux de genres et d'espèces; mais on ne peut retrouver la raison de ces déterminations. Entraîné par d'autres occupations, le savant professeur a laissé ce travail si incomplet qu'il serait bien difficile d'en entreprendre la publication. Des noms sur les échantillons et une magnifique collection de cinquante-deux vélins, voilà tout ce qui est fait; sans doute ils indiquent des observations attentives, mais aucune publication n'a expliqué la valeur et la raison des divisions et des dénominations nouvelles.

Nous devons donc regretter que des travaux de nature différente, entrepris en même temps, aient pu faire retarder une publication dont l'importance, si l'on juge d'après ce qui a été fait, eût été incontestable. Quelle n'eût pas été la valeur des échantillons ayant servi de types à la création des genres et des espèces! Si les Bélemnites décrites par de Blainville ont pris une valeur réelle par la détermination même qu'il en a faite, que serait-ce donc pour les Éponges, si difficiles à distinguer, et dont la spécification exacte est par cela même plus importante? Les espèces fossiles abondent et sont fort mal classées d'après l'apparence et la forme; aussi leur détermination précise est, sinon impossible, du moins presque insoluble d'une manière certaine.

Quand on songe aux services que l'ouvrage entrepris par M. Valenciennes eût pu rendre à la science, on doit donc bien vivement déplorer qu'il soit resté inachevé.

Il est maintenant facile de juger les travaux de M. Valenciennes, si l'on se place à un certain point de vue qui découle des principaux traits indiqués plus haut. Dans cette appréciation il faut tenir compte de trois choses. D'abord il ne faut pas oublier qu'il a été l'élève de Cuvier et grand admirateur de cet illustre naturaliste; c'est dans ces rapports, comme on l'a vu, qu'il a puisé son éloignement pour les théories, et son amour pour les faits bien observés qui ont laissé un cachet particulier dans tous ses travaux.

N'oublions pas non plus que dès le début de ses études, à l'époque où l'on faisait en réalité le *Règne animal* dans son ensemble, il s'est livré à une grande variété de recherches, s'occupant en même temps de toutes les branches de la zoologie. Jusqu'à la fin de sa vie il a gardé cette tendance à ne point se spécialiser et à aborder également tous les sujets sans prédilection marquée pour aucun.

Enfin, rappelons-nous que, chargé par ses premiers maîtres de déterminer les Oiseaux, les Mammifères, les Poissons et Zoophytes que possédait le Muséum, il puisa dans les travaux de sa jeunesse l'amour et une grande habitude des collections.

Si l'on ajoute à cela que M. Valenciennes avait été appelé à remplir des fonctions multiples, puisqu'à un certain moment il fut en même temps professeur dans plusieurs des grands établissements de Paris, on comprendra comment il lui eût été difficile de laisser sur les autres branches de la zoologie un ouvrage d'aussi longue haleine et d'autant d'importance que l'*Histoire naturelle des poissons*.

Digitized by Google

M. Valenciennes a fait de très-nombreux mémoires dont il est facile d'entrevoir l'objet et la méthode si l'on tient compte des observations précédentes. Si l'on ouvre les notices scientifiques présentées à l'appui de sa candidature à l'Académie, on y voit consignées de nombreuses monographies de genres, des descriptions d'espèces. Humboldt, Jacquemont et tant d'autres voyageurs recueillaient-ils des Poissons, des Coquilles ou des Polypiers, M. Valenciennes en publiait la description et en faisait connaître les espèces. C'est même à ces travaux qu'il faut rapporter ses relations avec l'illustre voyageur de Humboldt, relations qui à un moment de sa vie ont failli l'entraîner dans de lointaines recherches. Les monographies de M. Valenciennes portent le plus souvent sur des descriptions d'objets provenant de voyages, à quelque branche du règne animal qu'ils appartiennent. Mais, en somme, c'est surtout en ichthyologie qu'il avait une grande et réelle autorité, et c'est avec raison que les naturalistes voyageurs le considéraient comme le zoologiste qui connaissait le mieux à la fois l'organisation et les espèces des Poissons.

Voyons maintenant ce que les collections doivent à M. Valenciennes.

Il faut reconnaître qu'au point de vue de la publication, il n'a peut-être pas fait autant de travaux sur les collections dont il était chargé, que sur d'autres parties de la zoologie; mais, vous l'avez vu, il était entraîné par la variété de ses travaux. Nommé professeur au Muséum en 1832, M. Valenciennes occupa pendant trente-deux ans la chaire des Annélides, Mollusques et, Zoophytes, et s'il avait consacré ce long temps à l'étude des richesses zoologiques placées sous sa direction spéciale, il aurait rendu d'immenses services à cette branche de la science. Malheureusement, nous avons vu que son ardeur à tout étudier l'éloigna un peu de la voie que sa position semblait lui tracer. Mais, au point de vue de la collection en elle-même, le Muséum lui doit beaucoup. Les faits sont là, ils parlent d'eux-mêmes, et assez haut pour répondre à certaines critiques que l'on a parfois trop légèrement dirigées contre lui.

Pour s'en convaincre, il suffit de considérer la collection à l'époque où il la prit et de voir ce qu'elle est devenue sous sa direction.

Pendant le professorat de de Lamarck, la collection des coquilles s'était élevée de 1800 à 10000 échantillons. De 1829, année où mourut de Lamarck, à 1858, le nombre des échantillons s'accrut rapidement et atteignit le chiffre de 115000. Enfin en 1863, on en comptait 150000.

Pendant cette période de 1829 à 1863, deux professeurs occupèrent cette chaire, de Blainville et Valenciennes. Mais de Blainville n'y resta que trois ans. Pendant ces trois années, le nombre des coquilles put bien augmenter; mais placées sous la direction d'un homme dont les travaux d'anatomie comparée étaient une des plus grandes préoccupations, il est probable qu'elles ne durent pas s'accroître considérablement. C'est donc à M. Valenciennes que doit en réalité revenir l'honneur d'un si rapide accroissement.

Il est vrai qu'il faut tenir compte non-seulement du zèle du professeur, mais encore des circonstances heureuses qui purent le favoriser. Pendant cette période de trente-cinq années, nous voyons en effet arriver au Muséum des échantillons nombreux ou des collections tout entières recueillies par Dumont d'Urville, Freycinet, Bougainville, Dussumier, Leschenault, Jacquemont, Humbroud, Jacquinot et d'autres encore. Les voyages d'exploration scientifique étaient multipliés alors, et chacun d'eux concourait pour sa part à l'augmentation rapide des richesses zoologiques des collections. En même temps le gouvernement et le Muséum faisaient d'importantes acquisitions de coquilles. La collection de Roissy fut achetée 50000 francs. On acquit de même les collections de MM. Ferrussac, Rang, Caron, Lefebvre, Dutaillis, dont les noms sont bien connus des conchyliologistes.

Tout cela constituait des conditions heureuses pour l'accroissement de la collection du Muséum; mais avec elle incombait au professeur un travail considérable, bien que M. Valenciennes ait dû voir sa tâche facilitée par l'heureuse mémoire dont il était doué et les nombreux exercices de spécification auxquels il s'était habitué dès son début dans l'étude des sciences naturelles.

L'histoire des Mollusques, pour être complète, doit être étudiée au point de vue de deux sciences distinctes, se complétant l'une par l'autre, la conchyliologie et la malacologie. L'une est la partie facile : la coquille, en effet, se conserve si bien et forme de si belles collections que sa connaissance est plus répandue et préférée. L'autre, au contraire, la malacologie, est l'étude de l'animal lui-même. Tandis que la conchyliologie ne s'occupe que de la description et de la classification de l'enveloppe, la malacologie a pour but l'étude des parties molles, de l'organisation même des mollusques ; c'est la partie la moins abordable pour le naturaliste amateur, car sa connaissance est plus difficile, et les collections ayant trait à cette science sont moins agréables à la vue.

Relativement à la malacologie, les collections zoologiques ne possédaient absolument rien, à la mort de de Lamarck. C'est de Blainville qui, ayant besoin de Mollusques pour faire son cours, fit demander à Cuvier les quelques préparations conservées dans l'alcool que possédait les galeries d'anatomie comparée. Et ce fut ce petit nombre d'individus sur lesquels Cuvier avait fait ses premières recherches, qui devinrent alors l'origine de la riche collection de malacologie que possède aujourd'hui le Muséum. En 1858, elle comptait 5512 bocaux, et l'on peut affirmer que presque toute cette collection est due à l'initiative de M. Valenciennes, aux recommandations qu'il donnait aux voyageurs de rapporter les Mollusques entiers; elle est due enfin à ses propres récoltes et à ses préparations. Cette seule création de la collection de malacologie serait donc pour M. Valenciennes un titre à la reconnaissance des savants et du Muséum.

Il n'a pas moins fait pour les collections des Annélides et des Helminthes. En 1823, les Vers ou les Annélides étaient représentés par 30 bocaux; on en comptait plus de 1000 en 1864. En 1816, à la demande de M. Valenciennes, le Muséum reçut 606 bocaux des doubles de la collection des Vers parasites de Vienne; en 1858, leur nombre s'était élevé à 1053.

La collection des Spongiaires et des Zoophytes était représentée par un nombre d'échantillons infiniment moindre qu'aujourd'hui, quand M. Valenciennes devint professeur; les salles sont devenues insuffisantes, et ne permettent pas d'exposer la remarquable série d'objets que possède le Muséum. On peut dire la même chose des Échinodermes. C'est sur cette collection que MM. Agassiz et Desor ont fait leurs importants travaux, et ils ont déclaré qu'elle était une des plus riches d'Europe.

En résumé, M. Valenciennes a rendu d'immenses services

Digitized by Google

au Muséum dans l'arrangement et l'accroissement des collections. S'il avait moins étendu ses recherches, il eût pu laisser sur les Mollusques, les Vers et les Éponges une œuvre d'ensemble analogue à son *Histoire naturelle des Poissons* qui lui a donné une si juste autorité en ichthyologie; si pendant les trente-deux années de son professorat il avait publié le résultat d'observations portant sur les richesses zoologiques qui lui arrivaient de toutes parts, il eût pu laisser de magnifiques ouvrages sur des points de la science qu'il n'a fait malheureusement qu'effleurer.

M. Valenciennes avait, du reste, au suprême degré le sentiment des collections qu'il aimait en artiste. Il entendait l'aménagement des objets avec un goût parfait, et c'est uniquement au manque de place qu'il faut attribuer le désordre apparent de certaines parties des collections, désordre dont il n'est pas permis de lui faire un reproche.

L'examen des objets classés sous la direction de M. Valenciennes donne lieu à une autre remarque. Il avait vu de près l'origine de la paléontologie, il l'avait vu créer par Cuvier; or, dans tous ses travaux, on retrouve les applications des principes puisés à l'école où il s'était formé. C'est ainsi que dans la disposition des collections, M. Valenciennes a tenu à classer au milieu des espèces vivantes les espèces fossiles bien déterminées; il a voulu que la collection des animaux fût complète, ce qui ne pouvait avoir lieu qu'à la condition d'intercaler, au milieu des espèces vivantes, les débris des espèces éteintes.

Il y a à cet égard une remarque à faire. M. Lacaze-Duthiers la pose sous forme de question : la paléontologie est-elle une science distincte de la zoologie? Pour répondre à cette question, il est nécessaire d'établir une distinction. Si par paléontologie, on entend simplement l'étude des animaux éteints et fossiles, sans aucun doute cette science n'est pas distincte de la zoologie; car les animaux, pour être déterminés, doivent être comparés aux types vivants; ce n'est que par cette comparaison qu'on peut arriver à établir des genres et des espèces véritables dans les faunes éteintes. En faisant ce travail, on ne fait que de la zoologie; aussi, à ce point de vue, on peut le dire, la paléontologie n'existe pas. Mais l'étude de ces débris d'animaux dans leurs rapports avec les différentes couches du globe, comme moyen d'établir des divisions précises dans sa composition, leur emploi pour la détermination de l'époque des changements survenus, tout cela constitue réellement l'étude spéciale très-attrayante des Êtres anciens.

Au point de vue de la détermination et de la spécification, il est impossible de séparer l'étude des animaux éteints de l'étude des animaux vivants, termes indispensables de comparaison. Sous ce rapport, la paléontologie rentre dans la zoologie, et n'en peut être séparée comme science distincte.

C'est cette idée vraie qui guida M. Valenciennes dans la disposition des collections. C'est d'elle encore que se servit M. de Blainville d'une façon si originale dans ses recherches, alors qu'il cherchait à démontrer la série animale.

M. Lacaze-Duthiers ne veut pas parler des collections et de leur rapide accroissement sous l'impulsion donnée par Blainville, et surtout par M. Valenciennes, sans dire la part considérable que M. Rousseau a prise à ces progrès. Préparateur de M. de Blainville en 1829, aide-naturaliste de M. Valenciennes en 1835, il a concouru à l'aménagement méthodique des objets dont le nombre augmentait chaque jour. En 1841, il partait pour l'Océan indien et rapportait de Bourbon, de Madagascar, de Zanzibar et des îles Seychelles, quelques-uns des plus magnifiques échantillons de la collection des Zoophytes. « Il me serait difficile, dit M. Lacaze-Duthiers, d'apprécier, et le dévouement au Muséum, et le mérite particulier d'une personne qui m'écoute. Mais quand on a voyagé, on connaît toutes les fatigues, toutes les peines et, quoi qu'on en puisse dire, tous les dangers que rencontre le voyageur qui travaille à recueillir des objets de collection et d'étude; et c'est à ce titre au moins qu'il m'est permis de remercier M. Rousseau pour les beaux échantillons dont il a enrichi le Muséum. »

En résumé, on peut dire que le passage de M. Valenciennes dans la chaire des Mollusques, Annélides et Zoophytes, a été marqué par des progrès considérables réalisés, soit dans l'accroissement, soit dans l'aménagement des collections.

Nous venons de passer successivement en revue les travaux des trois hommes qui, les premiers, ont occupé la chaire des Mollusques, Annélides et Zoophytes. Voyons maintenant quel est le fait saillant que cette rapide revue nous indique, quel enseignement on en peut tirer.

Si l'on compare entre eux ces trois naturalistes, Lamarck nous apparaît d'abord comme ayant fait faire de rapides progrès à la branche de l'histoire naturelle qui lui était confiée, à tel point que la chaire fut dédoublée à sa mort. Il a acquis dans la science une autorité incontestable et incontestée, en écrivant son livre des *Animaux sans vertèbres*, œuvre immense dont l'étude des collections lui avait fourni les matériaux.

De Blainville se prépare à recueillir la succession de de Lamarck par ses recherches sur les Mollusques; ces recherches, publiées d'abord sous forme de mémoires, sont le résultat d'une bonne observation, ils ont rendu de grands services. Quand il eut été nommé professeur, il publia son *Manuel d'actinologie*, résumé général et un peu dogmatique, qui n'est pas dans toutes ses parties l'exposé d'observations personnelles et ne peut être considéré comme ayant autant de valeur que ses mémoires de malacologie.

Une remarque frappe dans la comparaison des travaux de ces deux savants : de Lamarck est d'abord presque exclusivement botaniste et publie un livre de grande valeur sur cette branche de l'histoire naturelle. Brusquement chargé de l'enseignement des animaux inférieurs, il devient zoologiste. Aussitôt il se spécialise, il impose à son travail des limites qu'il ne veut pas franchir, et le résultat de cette spécialisation est son magnifique ouvrage des *Animaux sans vertèbres* qui est un véritable monument pour l'époque à laquelle il a été écrit.

De Blainville commence par être anatomiste, et n'étudie les animaux inférieurs qu'en vue de la chaire de Lamarck; quand après ses trois années de professorat dans cette chaire, il lui fut permis de reprendre ses premiers travaux, ses recherches favorites, il abandonna presque complétement l'étude des animaux inférieurs. De Blainville s'est moins spécialisé que de Lamarck, et c'est pourquoi ses deux Manuels de malacologie et d'actinologie ont moins de valeur que ce qu'avait laissé son illustre prédécesseur.

Enfin, M. Valenciennes, multipliant ses recherches dans toutes les branches de la zoologie, exagère en quelque sorte ce qu'avait pratiqué de Blainville. Aussi, sous sa direction, les collections se sont accrues rapidement, mais malheureusement il n'a pas laissé un ouvrage général qui atteste son passage dans cette chaire. Ceci ne doit point être considéré

Digitized by Google

comme une critique de l'homme, mais comme la juste appréciation des travaux du professeur se rapportant à l'enseignement spécial qui lui est confié.

De ces différences dans la conduite de ces trois éminents naturalistes, il est résulté des différences dans la valeur relative de leurs travaux. Lorsqu'il s'agit des Invertébrés, de Lamarck est une autorité; de Blainville peut être souvent cité; mais l'on ne peut réellement dire de M. Valenciennes qu'une chose, c'est qu'il fut professeur dans cette chaire, et travailla surtout à l'accroissement des collections.

Encore une fois, ceci n'est pas une critique du savant, ce n'est que l'appréciation du professeur chargé de l'étude des animaux inférieurs. Quand il s'agira de Poissons, tout le monde reconnaîtra que M. Valenciennes possède la plus grande autorité en cette matière, et qu'il a laissé un magnifique traité d'ichthyologie. S'il eût écrit une semblable histoire des Mollusques et des Zoophytes, il eût pris, par cela même, une position égale, si ce n'est supérieure, à celle de Lamarck. S'il eût publié des travaux en rapport avec l'immense accroissement des collections, il eût rendu les plus grands services à la science. Combien ne doit-on pas regretter que son travail sur les Éponges soit resté inachevé. Quelle n'eût pas été la valeur de la collection des animaux de ce groupe, si un atlas complet était venu reproduire les détails d'organisation qui auraient servi de base à leur classification? A mesure que le nombre des espèces augmente, les déterminations deviennent de plus en plus difficiles; c'est par une rigoureuse comparaison qu'on les obtient, et pour cette comparaison il faut des termes bien précis. Ce sont ces termes nécessaires que l'ouvrage commencé par M. Valenciennes eût pu fournir. Nous devons donc regretter que la grande variété des recherches et des occupations du savant professeur ne lui ait pas permis de mener à bonne fin cette œuvre capitale.

De ces observations découle naturellement un enseignement : la chaire des Mollusques, Annélides et Zoophytes, ayant un but spécial, un programme déterminé, le professeur qui en est chargé doit se spécialiser dans ses travaux.

La science est tellement vaste, que pour lui rendre des services signalés, il semble nécessaire aujourd'hui de concentrer tous ses efforts sur des points limités. Amyot disait de l'amitié que, « lorsqu'elle se partage, elle va s'affaiblissant » comme les eaux d'une rivière qui se divise en petits ruis- » seaux. » Ainsi de nos forces : elles s'affaiblissent et ne produisent bientôt plus ce qu'on est en droit d'attendre d'elles, si on les applique à tout sans les réunir pour un travail déterminé. Il importe donc de se spécialiser. Telle doit être la règle de conduite des zoologistes modernes, s'ils veulent arriver à compléter la science par des observations positives, s'ils ne veulent pas embarrasser sa marche par des combinaisons hypothétiques et hasardées.

Cependant la spécialisation peut offrir un danger et faire naître certaines craintes.

Borner ses recherches à un groupe d'animaux trop restreint, n'est-ce pas s'exposer au danger de ne pas connaître l'ensemble de la zoologie, et de ne pouvoir comparer ce qu'on observe? Oui, sans aucun doute. Mais si, parmi les auditeurs, il se trouvait des jeunes gens qui voulussent se livrer à l'étude de la zoologie, M. Lacaze-Duthiers leur dirait : « Ne vous spécialisez qu'après des études générales sur tout le Règne animal; ayez d'abord une éducation solide sur l'ensemble des êtres. Faites même, au début de votre carrière, quelques travaux particuliers sur différentes branches de la science des animaux. Commencez surtout par l'étude de l'anatomie et de la physiologie de l'homme, et ne les perdez jamais de vue dans vos travaux postérieurs : c'est la base et le terme de comparaison de toutes les observations zoologiques. Puis, quand vous aurez réuni une pareille somme de connaissances, alors limitez vos recherches à des groupes que vous apprendrez à connaître aussi complétement que possible. C'est le moyen le plus sûr d'arriver à produire des travaux dont la valeur ne pourra être contestée. »

En second lieu, ne faut-il pas craindre qu'en se spécialisant, on ne perde ces idées générales qui font l'attrait et la grandeur de la science? La spécialisation, dit-on, enferme l'esprit dans un cercle étroit d'où il ne sort point, enclavé qu'il est au milieu des détails minutieux qui lui font perdre de vue les grands traits de l'histoire générale des êtres.

L'étude comparative qui vient d'être faite des travaux et des idées des trois grands naturalistes qui se sont succédé dans cette chaire, fournit une réponse facile à cette objection.

Lequel, en effet, de ces trois zoologistes, a été le plus spécialiste? Évidemment ce fut de Lamarck.

Lequel encore a abordé les questions les plus générales, et a laissé les ouvrages de valeur incontestable qui nous donnent le mieux l'idée d'une intelligence faite pour les conceptions philosophiques de l'ordre le plus élevé? C'est encore de Lamarck.

L'histoire de la science montre donc le peu de valeur de ces craintes, car l'homme qui s'est le plus spécialisé dans l'étude des animaux inférieurs est aussi celui qui a montré le plus grand esprit philosophique et généralisateur.

En résumé, la spécialisation n'a pas de danger si elle n'est pas mise en pratique dès le début d'une carrière scientifique. Elle présente, au contraire, de grands avantages si, en s'y abandonnant, l'homme qui veut connaître à fond un sujet déterminé, ne perd pas de vue les faits généraux de la science.

« Pour ma part, dit en terminant M. Lacaze-Duthiers, je désire consacrer mon temps à l'étude des immenses richesses zoologiques qui sont confiées à mes soins. L'avenir ne permet pas toujours de réaliser ce que l'on s'est proposé; mais il faudra des causes bien puissantes pour s'opposer à ce que je suive une voie qui me paraît féconde. Je me spécialiserai donc autant qu'il sera en mon pouvoir, en continuant à donner tout mon temps à l'étude des Mollusques et des Zoophytes. »

L. Hallez.

Muséum d'histoire naturelle.

Zoologie (*animaux articulés*). — M. Émile Blanchard (de l'Institut), professeur, a commencé ce cours le mercredi 25 avril, à une heure, dans la galerie de zoologie, et le continue les lundis, mercredis et vendredis suivants à la même heure. Il expose essentiellement les rapports de l'instinct et de l'intelligence avec la conformation organique, ainsi que l'adaptation des organes avec les conditions biologiques des espèces dans les classes des insectes, des arachnides et des crustacés.

Le propriétaire-gérant : Germer Baillière.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE NUMÉRO 24 12 MAI 1866

Paris, 11 mai 1866.

M. Fremy a déposé lundi dernier sur le bureau de l'Académie des sciences, au nom de M. Halphen, un diamant rose qui, dans cet état, peut être évalué de 150 à 200 000 francs. Mais cette couleur rose n'a été obtenue qu'en le soumettant pendant longtemps à l'action d'une température très-élevée. Au bout de quinze jours environ, le diamant doit reprendre sa teinte naturelle qui est jaune, et sa valeur ne sera plus alors que d'une soixantaine de mille francs. M. Halphen prie l'Académie d'accepter le dépôt du diamant pendant le temps nécessaire pour s'assurer de ce curieux changement de couleur.

Le choléra et les générations spontanées, qui n'occupaient plus l'Académie depuis quelque temps, viennent d'y faire leur réapparition. M. Arthur a lu un mémoire où il attaque la panspermie et les expériences de M. Pasteur. M. Grimaud de Caux, dans une lecture assez longue, a exposé la suite de ses laborieuses recherches sur la date exacte de l'apparition du choléra à Marseille l'année dernière. Enfin, M. Velpeau a communiqué en partie une lettre d'une personne de la Guadeloupe, — qui n'est pas médecin et qui médit des médecins, — dans laquelle on indiquait un remède consistant en une infusion de quelques plantes aromatiques du pays dans du punch chaud. Cette sorte de tisane avait été placée au milieu même d'une usine contenant 94 nègres; 64 furent atteints du choléra, et usèrent de ce remède dès les premiers symptômes : aucun ne périt. M. Rayer s'oppose à la mention dans les *comptes rendus* d'un fait qui ne présente aucun intérêt et ne peut avoir d'autorité puisqu'il n'est pas constaté par un médecin.

Citons enfin des recherches sur les causes de la direction des vents, et en particulier des alisés, par M. Bourgeois, et la présentation par M. Chevreul des travaux de MM. Maumené et Ragelet sur le suint de mouton. M. Chevreul expose à cette occasion ses propres recherches sur cette substance dont on a extrait une trentaine de corps différents, et rappelle que M. Evrard est parvenu récemment à retirer le suint de mouton des eaux provenant du lavage des laines. E. A.

SOCIÉTÉ DES AMIS DES SCIENCES (1).

SÉANCE ANNUELLE DU 4 MAI 1866, A LA SORBONNE.

PRÉSIDENCE DE M. LE MARÉCHAL VAILLANT (DE L'INSTITUT).

Messieurs,

Depuis huit ans que vous m'avez appelé à l'honneur de succéder à Thenard comme président de la Société des Amis des sciences, notre institution s'est développée de la manière la plus heureuse, et nos ressources, constamment en progrès, nous ont permis de soulager les plus nobles et les plus touchantes infortunes.

Cette nouvelle année s'ouvre encore sous de favorables auspices.

Je laisse à notre secrétaire le soin de vous dire tout à l'heure ce que nous avons fait et les dons considérables qui nous ont été offerts par MM. Dumas, Dubrunfaut, F. Leblanc, Pasteur, Henri Deville, Friedel et Wurtz, et qui les placent dès à présent au nombre des plus généreux bienfaiteurs de la Société; mais il m'appartient de remercier, devant cette nombreuse assemblée, nos éminents collègues, MM. Delaunay, Fremy, Bertrand et Jamin, de ces belles conférences qu'ils ont faites avec tant de succès au Conservatoire impérial de musique et de déclamation, au bénéfice de la Société.

Il m'appartient surtout d'offrir en votre nom à Sa Majesté l'Impératrice l'hommage de notre respectueuse et profonde reconnaissance.

En prenant les conférences sous son auguste patronage, en les honorant de sa présence, Sa Majesté a donné le plus touchant témoignage de sympathie pour la science, pour les savants et pour la grande œuvre de Thenard.

Vous le voyez, messieurs, la Providence nous comble de ses

(1) La souscription nécessaire pour devenir membre de la Société est de 10 francs. — On peut obtenir le diplôme de souscripteur perpétuel en versant une somme de 200 francs une fois payée. — La Société reçoit aussi des dons et des souscriptions annuelles plus ou moins importantes.

La Société, ayant été reconnue comme établissement d'utilité publique par décret du 14 avril 1858, a qualité pour recevoir des legs.

La Société publie, chaque année, le compte rendu de sa séance publique annuelle, en une brochure qui est distribuée à tous ses membres. Cette brochure contient le compte rendu de la gestion du Conseil d'administration, les Statuts de la Société, la liste de ses membres et de ses bienfaiteurs, celle des familles secourues, et en outre les éloges et les leçons qui ont occupé la séance annuelle.

On souscrit à Paris, place Saint-Sulpice, n° 6, au bureau de la Société, qui est ouvert de huit à dix heures du matin. Dans les départements, les souscriptions sont reçues par les correspondants de la Société.

Digitized by Google

faveurs, et, grâce à vos efforts, la généreuse pensée de l'illustre fondateur de notre Société devient de jour en jour plus féconde.

Compte rendu de la gestion du conseil d'administration pendant l'exercice 1865-1866,

Par M. F. Boudet, secrétaire.

Aide-toi et le ciel t'aidera, c'est ce vieil et touchant adage qui inspirait Thenard lorsqu'il formait le faisceau de ces sympathiques dévouements qui ont fondé la Société des Amis des sciences sur des bases désormais inébranlables. La pensée du maître était juste et généreuse, elle a été pieusement recueillie par ses élèves et ses amis; les savants ont compris qu'ils ne devaient compter que sur eux-mêmes, l'industrie s'est montrée reconnaissante de leurs services, les Amis des sciences ont offert leur tribut, et aujourd'hui nous pouvons célébrer avec confiance notre neuvième anniversaire ; notre œuvre, agrandie chaque année, est un vivant témoignage de la puissance de l'initiative individuelle et de la fécondité de l'esprit d'association.

Quel aiguillon en effet, pour tout homme généreux, dans le sentiment de sa personnalité agissante, de la spontanéité de ses actes et de l'importance de leurs résultats ! quelle force dans l'union des volontés librement engagées pour le succès d'une noble cause !

Ah! si l'esprit d'association dans ses développements modernes a déjà produit de si grandes choses dans le domaine de l'industrie, du commerce, de la finance; de quels bienfaits ne deviendra-t-il pas la source lorsqu'il mettra toutes ses forces au service des progrès moraux de l'humanité, lorsqu'il emploiera toute son énergie à dissiper les ténèbres de cette ignorance profonde qui enveloppe encore l'immense majorité des populations, dans les contrées les plus avancées, à faire luire à tous les yeux les lumières de la raison et de la vraie science, et à réparer par une fraternité sincère les déplorables erreurs de la fortune, qui trop souvent condamnent à la détresse les plus utiles serviteurs de la civilisation.

La Société de secours des Amis des sciences est assurément une des plus généreuses et des plus intelligentes manifestations de cet esprit nouveau d'association et de fraternité qui, élevant en quelque sorte la charité à un degré supérieur, donne à ses œuvres le caractère d'une réparation et même d'une récompense.

Ne sommes-nous pas l'association française des Savants et des Amis des sciences?

Ne sommes-nous pas une grande famille dont tous les membres se regardent comme solidaires, ne mettons-nous pas au même rang, dans nos sympathies comme dans nos éloges publics, les protecteurs et les protégés?

C'est ainsi que nous consolons des infortunes d'autant plus douloureuses qu'elles succèdent le plus souvent à une situation bien différente, et qu'elles atteignent des cœurs exaltés par la conscience d'un mérite réel et d'une fierté légitime.

Considérée à ce point de vue, la Société des Amis des sciences n'est pas seulement une grande institution, elle est encore un progrès considérable et un noble exemple.

Mais au delà de sa mission spéciale de bienfaisance, son conseil d'administration n'a pas craint d'envisager encore d'autres perspectives pour l'exercice de son activité et de son influence. Sachant bien qu'une institution, lorsqu'elle reste stationnaire, est menacée de décroître et de périr, il a depuis six ans donné à nos séances annuelles ce caractère de solennité littéraire et scientifique qui a contribué à la prospérité de notre œuvre.

Si, cette année, la gestion du conseil ne s'est signalée par aucune importante innovation, ce n'est pas qu'il se soit reposé sur les garanties d'une prospérité croissante ; un de nos plus généreux collègues a eu la pensée d'ajouter à nos statuts une disposition spéciale, dans le but de répandre et d'encourager, parmi les jeunes savants, les habitudes de la prévoyance et la salutaire pratique des assurances sur la vie.

D'accord sur l'excellence du but à atteindre, les opinions se sont divisées sur les moyens d'exécution ; il y a lieu d'espérer que le temps et l'étude amèneront une solution heureuse d'une question si digne d'intérêt.

Une autre tentative a obtenu une réalisation immédiate, je veux parler des conférences scientifiques de MM. Delaunay, Fremy, Bertrand et Jamin.

Indépendantes de la Société des Amis des sciences, mais instituées à son bénéfice par quelques-uns de ses membres, ces conférences ont attiré, dans la salle élégante du Conservatoire impérial de musique et de déclamation, l'élite de la société parisienne et un nombreux concours de membres de l'Institut et d'hommes éminents dans les sciences et dans leur enseignement. Sa Majesté l'Impératrice les a honorées de son auguste patronage et a voulu les encourager par sa présence et par celle du Prince Impérial.

Le but de l'institution de ces conférence est de faire renaître, dans des conditions plus larges et plus conformes à l'esprit de notre temps, cet ancien enseignement scientifique de l'Athénée, qui rappelle les brillants débuts de nos maîtres les plus éminents, et de populariser le goût de la science et de ses notions les plus générales et les plus utiles.

Tandis que l'instruction populaire se propage rapidement et élève son niveau, n'est-il pas de toute nécessité que l'instruction supérieure accomplisse aussi sa marche progressive et que les classes les plus avancées de la nation française ouvrent les yeux à ces lumières de la science qui éclairent d'un si vif éclat la magnificence des œuvres du créateur, et enrichissent sans cesse le patrimoine des peuples civilisés.

Sollicitée par la haute renommée des professeurs et par l'attrait naturel de la vérité, la société parisienne a répondu avec un empressement sympathique à l'appel du Comité des conférences, elle a montré qu'elle ne voulait rester étrangère ni aux merveilleuses découvertes de la science, ni aux grandes lois qui régissent l'univers et qui en maintiennent les harmonies éternelles.

Quels résultats ne doit-on pas attendre de cette manifestation si expressive de l'opinion publique et de l'heureux exemple que Sa Majesté l'Impératrice a donné, en se montrant si assidue et si attentive à toutes les conférences.

La Société des Amis des sciences doit s'applaudir du succès de cette épreuve inspirée par le plus vif intérêt pour sa prospérité.

Aujourd'hui l'institution des conférences est fondée, l'enseignement scientifique libre, devenu l'auxiliaire de la bienfaisance, va créer désormais de nouvelles ressources pour secourir les savants et leurs familles, et fournir tout à la fois les plus dignes sujets d'étude et d'admiration à l'intelligence, le plus noble but aux généreux instincts du cœur.

L'institution des conférences n'est pas le seul événement

Digitized by Google

favorable que nous ayons à signaler. Le 24 mars dernier, un don collectif de 10000 francs a été adressé à la Société, par MM. Dumas, Dubrunfaut, Friedel, F. Leblanc, Pasteur, Henri Sainte-Claire Deville et Wurtz, et deux jours plus tard, M. Wurtz lui offrait encore une somme de 1000 francs. L'éloquent auteur des éloges de Gerhardt et d'Auguste Laurent, avait voulu détacher une part du grand prix biennal que l'Institut venait de lui décerner, pour en faire hommage aux familles de ces savants déshérités de la fortune que la Société couvre de sa protection.

La Providence, vous le voyez, ne cesse pas de se montrer propice à notre œuvre, et toujours au moment où nos besoins semblent devoir surpasser nos ressources, elle suscite en notre faveur quelque généreuse inspiration. Jamais ces heureux incidents ne sont arrivés plus à propos que cette année.

Depuis quatre mois, six familles tombées dans la détresse ont augmenté le nombre déjà si considérable de nos pensionnaires. Quel douloureux témoignage de la rémunération insuffisante des services rendus à la science ! et quels noms, d'ailleurs, je vais avoir à prononcer devant vous !

C'est d'abord celui de Silbermann, le savant conservateur des collections du Conservatoire des arts et métiers, l'inventeur de l'héliostat qui porte son nom, le collaborateur de M. Fabre dans ses belles recherches sur la chaleur développée dans les combinaisons chimiques, qui ont valu à leurs auteurs la haute approbation de l'Académie des sciences.

Après avoir accompli ces remarquables travaux, après trente ans de service dans des établissements de premier ordre, Silbermann est mort à cinquante-neuf ans, laissant sa veuve infirme et plus âgée que lui, sans autres ressources qu'une pension de retraite liquidée à 146 francs. Quel eût été le sort de madame Silberman si le conseil de la Société ne lui avait pas accordé un secours annuel de 1000 francs.

Après madame Silbermann, c'est la veuve de Lereboullet, l'un de nos plus dévoués correspondants, le dernier doyen de la Faculté des sciences de Strasbourg, qui a dû se prévaloir de ses droits aux secours de la Société.

Savant modeste et infatigable, Lereboullet a consacré sa vie tout entière aux progrès et à l'enseignement scientifiques.

Il a publié quarante-neuf dissertations ou mémoires qui ont été pour la plupart couronnés par des sociétés savantes françaises ou étrangères. Trois fois il a concouru pour le grand prix des sciences physiques de l'Institut, et après avoir obtenu d'honorables récompenses en 1845 et 1854, il a été couronné en 1863. L'Académie impériale de médecine lui a décerné le prix Portal en 1851. Fils de ses œuvres, né sans fortune comme la compagne qu'il avait choisie, c'est uniquement avec les ressources de son traitement de professeur et de doyen, qui n'ont jamais dépassé 6000 francs, qu'il a pu se former une bibliothèque, subvenir à tous les besoins de sa famille et aux frais d'éducation de ses fils.

Aussi à sa mort, sa veuve s'est trouvée sans autres moyens d'existence que la pension de 1000 francs à laquelle lui donnaient droit les services de son mari. Le conseil s'est empressé d'ajouter un secours de 1000 francs à ce revenu si insuffisant.

Si depuis plus de vingt ans la ville de Toulouse possède un Observatoire, c'est à M. Petit qu'elle doit cet important établissement qui, sous sa direction, a bientôt acquis une juste célébrité.

L'Académie des sciences, en décernant à cet habile astronome le titre de correspondant, lui avait donné le plus honorable témoignage de son estime, aussi jouissait-il dans le monde savant, et surtout à Toulouse, de la plus grande considération ; et cependant lorsqu'une mort prématurée l'a enlevé à ses travaux, sa veuve serait tombée dans la plus affreuse détresse, si le conseil ne s'était hâté de lui accorder un secours de 1000 francs.

Après les Facultés des sciences de Strasbourg et de Toulouse, la Faculté de Clermont-Ferrand a été frappée à son tour dans la personne d'un de ses membres les plus distingués. Professeur depuis dix ans à cette Faculté, M. Bernard avait réussi, malgré les obstacles que lui créait sa mauvaise santé, à acquérir un rang élevé parmi les physiciens, il avait présenté à l'Institut un grand nombre de mémoires importants sur la lumière, il avait imaginé plusieurs instruments aussi ingénieux qu'utiles, il venait d'achever avec M. Bourget un travail remarquable sur les vibrations des membranes carrées élastiques, et il se proposait de poursuivre ses recherches au moment où la mort est venue l'arrêter, et enlever avec lui à madame Bernard et à sa jeune fille leur unique et nécessaire appui. Le Conseil a voté en leur faveur un secours annuel de 1000 francs.

Enfin le Conseil, après avoir entendu les rapports de deux commissions spéciales qui ont reconnu que les conditions exigées par nos statuts étaient remplies, a accordé un secours de 600 francs à madame Binet, veuve octogénaire de M. Paul Binet, et une somme égale à madame veuve Caillat.

M. Paul Binet, ancien répétiteur d'analyse à l'École polytechnique, a présenté en 1814 à l'Académie des sciences, sur l'intégrabilité des équations différentielles linéaires du premier ordre, un mémoire dont les résultats, reproduits et approuvés par Lacroix dans son ouvrage, sont restés acquis à la science.

M. Caillat, ancien sous-directeur de l'Institut agronomique de Grignon, où il a professé les mathématiques, la physique et la chimie appliquées à l'agriculture, a présenté à l'Académie des sciences des observations météorologiques très-intéressantes, recueillies pendant les années 1844, 1845 et 1846, et deux mémoires importants sur l'application du plâtre comme amendement.

Vous le voyez, messieurs, dans l'espace de quelques mois, votre Conseil a dû fournir des moyens d'existence à six familles, et les chefs de ces familles n'étaient pas seulement des savants, selon les termes de nos statuts, c'étaient des hommes considérables par leur caractère, par leurs travaux et par une réputation justement acquise.

C'était un astronome éminent, correspondant de l'Institut, c'était le doyen de la Faculté des sciences de Strasbourg, le laborieux professeur de physique de la Faculté de Clermont-Ferrand, l'ingénieux, le savant Silbermann. Quel triste sujet de réflexions !

A une époque où la science joue un si grand rôle, alors qu'étonnant le monde de ses merveilles, elle prodigue à l'industrie les éléments de sa puissance et de sa richesse, alors qu'elle répand sans mesure ses bienfaits sur toutes les classes de la société et révèle à l'humanité les témoignages éclatants de sa primitive histoire, c'est à cette triste condition que se trouvent réduits ses plus généreux apôtres.

Je ne veux rien ajouter à ces faits, ils parlent trop haut pour avoir besoin de commentaires, leur enseignement, j'en suis sûr, ira droit au cœur des hommes généreux qui ont la mission et le pouvoir d'en prévenir le retour, et des jours

Digitized by Google

meilleurs ne tarderont pas à luire pour les savants; espérons pour leur avenir et félicitons-nous de pouvoir réparer dès aujourd'hui les conséquences d'une situation dont ils ont tant à souffrir. Et, en effet, tandis que nos charges s'accroissent, nos ressources continuent également à progresser. Le produit total de nos recettes, pendant l'exercice de 1865, s'est élevé à 54 976 fr. 08 c. et notre capital, accru de 23 678 francs, était, au 31 décembre dernier, de 292 453 fr. 10 c.

Si en 1865 le chiffre des dons n'a pas atteint celui de 1864, c'est que les 10 000 francs si généreusement offerts à la Société par M. Dubrunfaut l'avaient élevé exceptionnellement pour ce dernier exercice. Mais, en revanche, nous avons à constater une augmentation de 250 souscriptions ordinaires et de 45 souscriptions perpétuelles. Grâce à ces heureux résultats, nous avons pu distribuer 26 661 francs, en secours, sans épuiser la somme que nous pouvions affecter à cet emploi.

Le budget de 1866 s'est trouvé, dès le 1er janvier, grevé de 5500 francs de nouveaux secours, mais le progrès de nos souscriptions et les 11 000 francs de dons que nous venons de recevoir, ajoutés aux bénéfices des quatre conférences du Conservatoire, nous permettront de faire face à ces charges extraordinaires. Cependant, ne nous laissons pas éblouir par ces avantages inespérés sans lesquels nous nous serions trouvés au-dessous de nos besoins. Remercions nos zélés collaborateurs. Remercions nos correspondants dont le dévouement est si méritoire, mais en même temps demandons-leur de nouveaux efforts de propagande, et soyons les premiers à leur donner l'exemple de la plus énergique persévérance.

La pensée de Thenard était juste et généreuse, vous disais-je, en commençant ce compte rendu; j'ajoute qu'elle est pleine d'avenir et qu'elle ouvre encore de nouvelles et grandes perspectives à notre activité, mais nous pouvons envisager sans crainte l'étendue de notre mission, le passé nous donne le droit d'avoir confiance dans nos forces. Poursuivons notre marche dans cet esprit de progrès et de prudente initiative qui assure la durée des institutions. La Providence qui nous a donné des marques si manifestes de sa faveur, récompensera nos efforts.

Aidons-nous, et le ciel nous aidera !

F. BOUDET.

Éloge de Gratiolet,

PAR M. PAUL BERT (1).

(Professeur à la Faculté des sciences de Bordeaux.)

Messieurs,

« Il y a dans le monde, a dit Pascal, deux sortes de grandeurs; car il y a des grandeurs d'établissement et des grandeurs naturelles. Les grandeurs d'établissement dépendent de la volonté des hommes, et nous leur devons des respects d'établissement, c'est-à-dire certaines cérémonies extérieures; mais les respects naturels qui consistent dans l'estime, nous ne les devons qu'aux grandeurs naturelles. » Ces paroles semblent inspirées, messieurs, par la vie dont je vais dérouler devant vous les phases tour à tour brillantes et sombres, par la vie d'un homme auquel rien n'a manqué dans l'ordre naturel des grandeurs et des respects, et que la mort a foudroyé au moment où il venait d'obtenir, d'une tardive justice, et les autres respects et les autres grandeurs. Je veux, racontant cette belle et triste histoire, éloigner de ma pensée les amers souvenirs et tout ce qui serait indigne de la mémoire du maître que j'honorais autant que je l'aimais. En montrant comment a pu être maintenu si longtemps dans l'ombre celui dont la science resplendissait d'éloquence, en montrant ce que nous avons perdu et par sa mort et pendant sa vie, je veux laisser ceux dont le devoir était et est encore de prévenir de semblables maux se demander s'il convient de n'accuser ici que la destinée. Puisse du moins sortir d'un si douloureux récit quelque enseignement utile; puissent désormais marcher toujours réunis, et ces grandeurs et ces respects, trop souvent séparés.

Pierre-Louis Gratiolet naquit à Sainte-Foix-la-Gronde (Gironde) le 6 juillet 1815. Il appartenait à une famille fort ancienne, originaire du Béarn, qui s'était fixée à Agen vers le XVIe siècle (1). Son père exerça successivement la médecine à Sainte-Foix, puis à Bordeaux, où le jeune Pierre commença ses études classiques. Il vint, en 1829, les achever à Paris dans le collége Stanislas.

Il ne fut pas un de ces enfants de génie, dont la complaisance des biographes recueille les traits merveilleux; il ne fut pas non plus un de ces héros de concours qui brillent un jour de distribution de prix pour disparaître à jamais. Mais il se fit de bonne heure remarquer par son intelligence ouverte, la droiture et la finesse de son esprit, la tournure gracieuse et souvent poétique de ses pensées. Déjà, chez lui, se révélait cet aptitude aux arts du dessin dont le professeur devait faire un jour un si brillant et si utile usage. Il passait ses jours de liberté dans nos musées publics, s'arrêtant de préférence devant les portraits des grands hommes, et scrutant leurs physionomies; au collége, son habileté se manifestait dans l'art d'exprimer, en l'accentuant, le trait dominant d'un visage humain, dans l'art de la caricature où plus tard il excella, et qui annonçait pour ainsi dire en lui le peintre de « la physionomie et des mouvements d'expression ». Mais, dès son enfance et pendant sa vie entière, son excellente nature, sa bonté sans égale, le protégea contre les entraînements de son crayon facile et de sa verve gauloise. « Déjà aussi, a dit un de ses biographes (2), l'injustice qu'il a su, durant toute sa vie, supporter avec tant de calme, alors qu'elle n'atteignait que lui, le révoltait profondément lorsqu'il s'agissait des autres. Brave jusqu'à la témérité, il prit, dès son enfance, le parti du faible contre le fort. » Est-il donc étonnant que maîtres et condisciples se soient épris d'une vive affection pour cet enfant d'élite, que couronnait cette triple auréole qu'il conserva toute sa vie : gaieté charmante, amour du beau, dévouement sans mesure? Il contracta au collége Stanislas de nombreuses amitiés, dont quelques-unes devinrent illustres, et qui toutes demeurèrent fidèles.

C'est pour ne pas quitter le plus cher de ses amis (3) qu'il

(1) M. le docteur Paul Bert étant retenu à Bordeaux par ses fonctions de professeur à la Faculté des sciences, M. Cloëz a bien voulu lire pour lui l'*Éloge de Gratiolet*.

(1) Jean Gratiolet (capitaine-major de la ville d'Abbeville, en Picardie), commis à la charge de héraut d'armes de France et de Navarre au titre d'Alençon, fut chargé par le roi Louis XIII, en 1635, de déclarer la guerre au cardinal infant d'Espagne qui retenait prisonnier l'archevêque de Trèves. (*Essais historiques sur Paris*, de M. Sainte-Foix, t. IV, 1776.)

(2) M. Grandeau : *Notice sur la vie et les travaux de Pierre Gratiolet*. Paris, Hetzel, 1865.

(3) M. le conseiller Dauchez, à qui je dois la plupart de ces détails sur les jeunes années de Gratiolet. Je le prie d'accepter l'expression de ma gratitude.

Digitized by Google

fit une courte apparition à l'École de droit. Mais bientôt l'aridité de ces décevantes études, la vanité des disputes scolastiques, la fragilité des principes de convention, firent reculer ce vaillant esprit, amoureux de l'espace, de la lumière et de la certitude. Il se sentait entraîné vers l'étude des sciences, pour laquelle il était merveilleusement doué, car en lui se trouvaient réunis la pensée qui prévoit, dirige et conclut, les sens actifs qui observent, la main habile qui obéit. Aussi, dès son entrée à l'École de médecine, il se consacra particulièrement à l'étude de l'anatomie, dont il acquit bientôt une connaissance étendue, malgré les mauvaises méthodes d'enseignement, que plus tard il allait réformer quand la mort l'arrêta.

En 1839, un brillant concours lui donna le titre d'interne des hôpitaux. Ce fut pour lui une nouvelle et précieuse occasion de s'instruire et de se faire aimer. Les amis des salles de gardes, francs et fidèles comme ceux du collége, ne manquèrent pas à cette charmante et généreuse nature qu'on ne pouvait rencontrer sans être séduit. Il me souvient de les avoir vus tous, bien plus tard, et c'était un bon et salutaire spectacle, entourer leur cher Gratiolet d'une affection ardente, le défendre contre des imputations qui parfois furent odieuses, le consoler dans ses longues épreuves, et, lorsqu'enfin l'horizon s'éclaircit, applaudir fraternellement à ses triomphes. Pour quelques-uns ce fut comme un culte; il fallait les entendre raconter aux amis plus récents, mais non pas moins dévoués, les histoires de l'enfant chevaleresque qui livrait combat à toutes les injustices, ou celles du «bon interne», comme l'appelaient les pauvres malades de la Salpêtrière. Hélas! je les ai vus, plus tard encore, écrasés de douleur, au chevet où la mort l'avait frappé au lendemain d'une victoire, étendre sur la tête de ses jeunes enfants leurs mains auxquelles notre Société, grâces en soient à jamais rendues à Thenard! allait unir sa main puissante et secourable.

Encore sur les bancs de l'école, Gratiolet songeait au professorat; et déjà, admirant son esprit souple et élevé, l'éclat et la solidité de sa parole, et sa facilité à représenter au tableau les détails ardus des descriptions anatomiques, ses amis lui prédisaient des succès assurés. Mais lui ne se reposait pas sur ce rare assemblage d'heureuses qualités. Tantôt seul, dans sa petite chambre de la rue Soufflot, tantôt dans la conférence philosophique, alors fort connue, de l'impasse des Vignes, il s'exerçait à l'art de bien dire.

C'est qu'il avait pour le rôle de professeur un respect profond. Il ne suffit pas, pensait-il, d'exposer à la jeunesse studieuse des faits exacts, des idées saines et justes, il faut encore et surtout lui faire aimer ces faits et ces idées; un professeur, comme il espérait l'être et comme il le fut en effet, doit démontrer, mais surtout « séduire à la science »; il est comme un ferment duquel sort un rayonnement incessant et fécond qui ne diminue en rien sa force. Mais cependant, bien loin de plier à une crédulité servile les jeunes intelligences qui se confient à lui, il doit, quand leurs ailes sont fortes, leur laisser prendre un libre essor. « Le champ est vaste, disait souvent mon éloquent maître, le but lointain, les routes variées, mais toutes lumineuses; la nature est comme un livre, le professeur doit enseigner les lettres et inspirer l'amour de la lecture; qui voudra lire y lise, et ouvre le livre à sa page. » Ce n'est pas qu'il ne combattît, et vigoureusement, ce qu'il croyait être l'erreur; sa tolérance était armée, mais c'était la tolérance. « Vous reviendrez à la vraie voie », disait-il avec son bon sourire. Que l'on permette à l'un de ses élèves, qui, tout fier qu'il soit de ce titre, s'était, sur beaucoup de questions philosophiques, séparé du maître, d'invoquer en exemple et ses dissensions presque quotidiennes et l'affection paternelle dont il était honoré, et de rendre ici un public hommage à cette rare et sublime honnêteté.

De si hautes et de si nobles qualités n'avaient pu manquer d'attirer l'attention sur le jeune Gratiolet. Un de ses maîtres, le bon et spirituel Pariset, s'attacha surtout à lui par l'esprit et par le cœur; et, frappé des aptitudes scientifiques de son jeune ami, il le présenta à M. de Blainville qui, en 1842, le fit entrer dans son laboratoire.

C'était le mettre à une haute et à une rude école. Mais M. Pariset n'ignorait pas que la nature ardente, passionnée, difficile, de l'illustre anatomiste était profondément honnête. Il savait, en remettant entre ses mains l'avenir de celui qu'il aimait comme un fils, que M. de Blainville avait l'amour de la science et le sentiment de sa force à un assez haut degré pour protéger un rival de gloire, dût ce rival l'égaler un jour. M. de Blainville se montra digne de cette paternelle confiance; sans doute aussi la modération charmante et la fermeté respectueuse du jeune disciple le domptèrent et le séduisirent. Toujours est-il qu'un double lien d'affection et de reconnaissance s'établit entre eux, et qu'au mois de juin 1854, M. de Blainville fit accepter Gratiolet comme suppléant pour le cours dont il était chargé au Muséum d'histoire naturelle.

Gratiolet n'avait pas encore vingt-neuf ans. Dans cette chaire d'anatomie comparée, la gloire du Muséum et l'une des gloires de la France, il succédait au grand Cuvier et à son fougueux émule. Encore étudiant (1), déjà il enseignait aux maîtres, et il le faisait avec la grandeur d'une pensée mûrie par la méditation, avec l'éclat d'une parole que parfois inspirait la poésie. Son début fut un triomphe; et, pendant cinq années, il se montra digne de sa précoce et redoutable élévation. Sans doute alors sa jeune et ardente imagination voyait s'ouvrir à deux battants les portes d'un brillant avenir. Qui pouvait prévoir que celui dont la supériorité venait ainsi de s'affirmer au plein jour serait, pendant de longues années, condamné à l'ombre silencieuse; que par deux fois, comme à Tantale, on lui arracherait cette gloire qu'il croyait tenir, et qu'un jour enfin il irait mourir, à l'aurore d'un avenir nouveau, sans avoir pu, réalisant le rêve de toute sa vie, relever l'enseignement de cette chaire célèbre à la hauteur où l'avait placé les Blainville et les Cuvier.

Un coup terrible allait l'atteindre. Le 1er mai 1850, au sortir d'une leçon de Sorbonne, de Blainville fut frappé d'une apoplexie foudroyante. Aucun de ses élèves n'eut part à son double héritage de la Faculté des sciences et du Muséum, et la chaire d'anatomie comparée qu'il aurait voulu léguer au plus aimé d'entre eux fut donnée à M. Duvernoy, collaborateur de Cuvier.

Gratiolet ne se plaignit pas; il avait pour lui l'avenir, il se sentait fort de ses succès passés, et se prépara à appuyer de travaux importants les titres considérables qu'il tenait déjà de son immense talent. D'ailleurs, M. Duvernoy ne pouvait suffire à deux enseignements; il se fit, à partir de 1852, remplacer par Gratiolet dans sa chaire du Collége de France. Ici encore, une foule enthousiaste se presse à ses leçons, et nul

(1) Il ne passa qu'en 1845 sa thèse pour le doctorat en médecine, intitulée : *Recherches sur l'organe de Jacobson*.

Digitized by Google

ne doute que cette fois sa place ne soit définitivement acquise. Vain espoir ! Duvernoy meurt, et sa succession est ravie à Gratiolet : il en fut profondément affligé. Faut-il rechercher aujourd'hui les motifs et les fauteurs de cette irréparable injustice ? Non, messieurs. Bien avant sa mort, avant même le premier sourire de la fortune, Gratiolet avait tout pardonné. Inspirons-nous de sa pensée, détournons nos yeux attristés, et reportons-les sur ce noble spectacle, tant vanté des anciens, d'une grande âme aux prises avec l'adversité.

Heureusement pour Gratiolet, il ne fut pas longtemps seul (1). Dédaigneux, lui, pauvre, dédaigneux des unions cupides où le budget fait loi, il eut ce suprême bonheur d'associer à sa destinée une noble femme, qui, après avoir été toute consolation ou toute joie, selon les bons ou les mauvais jours, se montra héroïque lorsque sonna l'heure des grandes infortunes. Appuyé sur cette main amie, Gratiolet considéra courageusement l'avenir et se remit au travail.

Pendant huit ans, sa vie s'écoula silencieuse dans le laboratoire d'anatomie comparée dont il avait la direction, et où cependant mille difficultés de détail entravaient son activité. C'est dans cet intervalle que parut l'un des plus beaux livres d'anatomie philosophique qu'ait produits notre siècle, son *Traité d'anatomie comparée du cerveau de l'homme et des singes* (2).

L'étude du système nerveux des animaux supérieurs fut le sujet principal de ses recherches et de ses méditations. « L'anatomie la plus élevée, disait-il, est celle qui vient en aide à l'étude philosophique de l'intelligence. » Tour à tour naturaliste et philosophe, il l'envisagea à tous les points de vue ; il lui dut ses plus importantes découvertes, ses plus éloquentes inspirations et la plus belle partie d'une réputation, qui, dissimulée en France, nous était enviée par l'Angleterre et l'Allemagne. Huxley, Davidson, Eschricht, Retzius, Rudolph Wagner, traitaient Gratiolet en égal, c'est-à-dire en maître. Un illustre naturaliste anglais (3) le qualifiait « la plus haute autorité de notre âge en anatomie cérébrale ». Il est facile de prouver que cette expression est rigoureusement vraie.

C'est, en effet, Gratiolet qui, le microscope en main, a découvert les filets qui réunissent entre elles les cellules constituantes de la moelle épinière (4), et par cette observation capitale a expliqué les phénomènes les plus généraux du système nerveux en action, je veux dire les phénomènes réflexes. Comment comprendre que l'excitation localisée d'un point du corps occasionne, en dehors de la volonté, des mouvements dans quelque autre partie éloignée ? On savait que le filet nerveux qui apporte l'impression à la moelle épinière se termine dans une cellule de cet organe ; on savait, d'autre part, que le filet nerveux qui commande le mouvement part d'une autre cellule de ce même organe. N'est-il pas nécessaire que quelque relation anatomique existe entre ces deux cellules pour que l'impression de l'une suscite la réaction de l'autre ? Cette relation, beaucoup d'anatomistes l'avaient recherchée vainement. Gratiolet, persuadé de sa nécessité, se mit à l'œuvre, et la démontra, donnant ainsi un bel exemple de la puissance des hypothèses appliquées à l'investigation des faits, lorsque ces hypothèses sont au service d'un esprit ferme et prudent : découverte qui aurait pu suffire à illustrer son auteur, car elle donnait enfin le mécanisme des actions et des réactions sympathiques sur lesquelles on avait tant et si longuement disserté.

Après avoir éclairé ce point obscur et important de l'anatomie générale, Gratiolet envisagea le système nerveux dans son expression morphologique, et du premier coup s'attaqua aux plus graves et aux plus difficiles problèmes. On sait dans quelle surprise, dans quelle admiration et dans quel embarras, ont été jetés les naturalistes et les philosophes par l'observation extérieure et surtout par l'anatomie des grands singes que leurs gestes et leur figure ont fait nommer anthropomorphes. « Toutes les parties du corps de l'orang, s'écrie Buffon, tant intérieurement qu'extérieurement, sont si parfaitement semblables à celles de l'homme, qu'on ne peut les comparer sans être étonné que d'une organisation qui est absolument la même il ne résulte pas les mêmes effets. Par exemple,... le cerveau est absolument de la même forme et de la même proportion que dans l'homme, et cependant l'orang ne pense pas. Y a-t-il une preuve plus évidente que la matière seule, quoique parfaitement organisée, ne peut produire la pensée, à moins qu'elle ne soit animée par un principe supérieur ? »

Certes, cette conclusion n'était pas de celles qu'eût repoussées Gratiolet, champion éloquent des doctrines spiritualistes ; et, cependant, telle était sa bonne foi scientifique, qu'il ne put en accepter sans vérification les prémisses. Insistons, messieurs, sur ce fait. On a souvent reproché à Gratiolet de se laisser diriger dans ses travaux par des idées préconçues, de procéder par à priori, et de ne chercher dans les faits qu'une confirmation à des hypothèses élevées par avance à la hauteur de dogmes. Protestons énergiquement contre cette imputation, qui, pour un savant, est une injure. L'hypothèse aimée de Gratiolet, celle que lui fournissait avec une inépuisable abondance sa féconde imagination, est cet instrument merveilleux de découvertes, avec lequel l'homme sonde et trouve le côté accessible des problèmes posés, et soulève des problèmes nouveaux ; mais il proscrivait celle qui s'impose e refuse d'obéir aux faits. Maître de sa pensée ailée, l'enchaînant avec courage dans le lent sillon de l'investigation patiente, il se montra toujours admirable dans l'analyse scrupuleuse des détails et comme supérieur à lui-même : c'est qu'il avait le génie qui féconde le fait, et saisissant ses conséquences, lui enlève son aridité. Je n'en veux pour preuve que le travail dont j'allais vous entretenir, que ses *Recherches sur les plis cérébraux de l'homme et des primates* (1).

Tout d'abord, il repousse l'assimilation complète que fait Buffon du cerveau de l'orang et du cerveau de l'homme ; la richesse des plis qui sillonnent la surface du cerveau humain, la prédominance de sa région frontale, la réduction extrême de son lobe postérieur, bien d'autres caractères évidents à première vue, permettent de s'étonner de l'erreur du grand naturaliste. Mais, recherchant sous la complication, jadis inextricable, des circonvolutions cérébrales, les traits constants, ceux qui persistent chez toutes les races humaines et jusque chez les idiots, ceux qui, à un certain moment du dé-

(1) Il se maria le 11 décembre 1854.

(2) Ce traité forme le deuxième volume de l'ouvrage publié sous ce titre : *Anatomie comparée du système nerveux considéré dans ses rapports avec l'intelligence*. Paris, J. B. Baillière, 1857.

(3) Lyell, *Antiquity of man*.

(4) *Journal de l'Institut*, t. XX, 1852, p. 272.

(1) Lu à l'Académie des sciences en 1850, et inséré dans le *Recueil des savants étrangers*.

Digitized by Google

veloppement, se montrent seuls sur les hémisphères du fœtus, Gratiolet fut amené à conclure qu'ils rattachent intimement le type homme au type singe, si bien que c'est des singes supérieurs qu'il faut partir pour étudier fructueusement l'architecture du cerveau humain. Mais, poussant encore plus loin l'analyse, et ne s'arrêtant pas à cette identité typique, il interroge le développement cérébral (1), et là, avec plus de joie encore que de surprise, il croit constater entre les circonvolutions de l'homme et celles du singe un mode d'apparition exactement inverse : chez le premier, elles se montrent d'abord sur le lobe frontal, témoignant ainsi de la dignité de cette région, et marchent d'avant en arrière; chez les singes, au contraire, c'est sur le lobe occipital qu'on les constate d'abord. Ainsi, pour Gratiolet, le même type est réalisé par une évolution contraire. Ainsi l'homme, jusque dans l'organe de son intelligence, est à l'abri du contact animal, et différent, dès son principe, du singe qui arrive à lui ressembler par un développement ultérieur, il est d'autant plus homme, si l'on peut ainsi parler, qu'il est plus près de son origine.

Aussi, le cerveau de certains idiots, nommés microcéphales, dont le développement a été arrêté pendant l'âge fœtal, présente déjà, et au plus haut degré, les caractères humains : « Il ne faut donc pas s'étonner, dit Gratiolet, que ces microcéphales conservent également les aptitudes intellectuelles, propres à l'homme; la plupart ont un langage intelligible, très-peu riche il est vrai, mais articulé et abstrait; leur cerveau, inférieur en apparence à celui d'un orang ou d'un gorille, est cependant celui d'une *âme parlante*. Cette virtualité innée, et pour ainsi dire ineffaçable, est certainement le caractère le plus éclatant, le plus noble de l'homme; elle frappe, en regard de cette atténuation, de cet anéantissement partiel des organes de l'intelligence. Ainsi la maladie peut amoindrir l'homme, elle n'en fait point un singe (2). »

Dignité suprême de l'homme! Intelligence qui se conçoit elle-même et personnifie les causes! Sujet inépuisable de méditation, d'angoisses et d'enthousiasme! Jamais plus fervent adepte n'a scruté plus scientifiquement la nature pour déterminer les conditions de ta grandeur! Jamais voix plus inspirée n'en a plus éloquemment célébré les effets et les preuves! Gratiolet avait pour cette puissance intellectuelle et pour l'harmonie organique qui l'exprime en la servant une admiration qui semblait un culte. C'est qu'à ses yeux, comme à ceux de Pascal, « l'homme est visiblement fait pour penser (3). » « L'homme et les animaux sont des harmonies dont les tons diffèrent; or, le ton de l'homme s'appelle intelligence. Voilà la base de l'accord où toutes ses fonctions s'unissent. Ainsi la perfection de l'homme ne s'appellera ni locomotion, ni acuité des sens externes, elle s'appellera intelligence (4). » Aussi cette intelligence trouve-t-elle dans le corps un instrument adapté même dans ses imperfections, et parfait même à cause d'elles.

Il fallait entendre Gratiolet, développant ce thème avec une incomparable richesse d'expressions, décrire tour à tour la stature verticale de l'homme; son front prêt pour la couronne, dominant la face réduite; ses yeux dirigés en avant, et dont les nerfs en relation directe avec l'organe de l'intelligence font de lui « l'animal lumière »; et sa main, habile à toucher, habile à saisir, dont le geste peut suppléer même à la parole, geste sublime du larynx, et qui, spéciale à l'homme, n'est plus chez le singe, par l'atrophie du pouce, qu'un instrument de préhension brutale, un simple crochet de suspension.

Mais si grand que soit le type homme, il a des expressions de dignités différentes. Il existe des races inférieures, si dégradées ou du moins si basses, que, selon beaucoup de naturalistes, elle font, pour ainsi dire, une transition vers les singes. Vous devinez, messieurs, avec quelle ardeur Gratiolet s'attacha à leur étude. Il constata d'abord que, chez elles, les sutures qui séparent dans le jeune âge les os du crâne s'ossifient de très-bonne heure, tandis que chez les races supérieures elles persistent bien plus longtemps, en sorte que l'enveloppe protectrice du cerveau peut grandir avec lui. « De là peut-être cette perpétuelle jeunesse de l'esprit qui, chez les hommes qui pensent beaucoup, semble défier la vieillesse et la mort. » Puis, examinant leur cerveau lui-même, il vit que, comme les cerveaux des fœtus, comme ceux des idiots, il présente au plus haut degré les caractères humains; à l'état permanent, il est comparable à une sorte d'arrêt de développement du cerveau des races supérieures. Mais ici Gratiolet saisit un fait remarquable et qui doit servir de base à la psychologie comparée.

Le cerveau d'une femme de race bojesmane connue sous le nom de Vénus hottentote, qu'il eut occasion d'examiner, lui montre un état de développement qui ne peut être mis en parallèle qu'avec le cerveau des blancs idiots. Or, la Vénus hottentote n'était point idiote. Ce qui est parfait chez les races inférieures est donc imparfait chez les supérieures; ce qui est infériorité chez les uns devient donc dégradation chez les autres. Il y a donc des degrés de suffisance. « Les nègres, les Bojesmans, comparés aux races blanches, ne sont donc point des enfants arrêtés dans leur développement, ce sont des êtres achevés; mais les sommets de ces races s'élèvent, dans l'ordre de la création, à des hauteurs inégales. » Aussi Gratiolet ne peut-il partager « les rêveries charitables des philosophes qui poursuivent l'exaltation des races inférieures, » et qui, sous prétexte d'égalité, les arrachent à leur évolution personnelle et les vouent, en face d'une concurrence fatale, à la misère et à la mort. Mais ne craignez rien, messieurs; de ces principes que pose la science, rien ne découle qui puisse servir une thèse odieuse, et rattacher des fers enfin brisés. Écoutez Gratiolet : « Tous ces êtres hiérarchiquement inégaux sont hommes, doués de la parole, intelligents, et par conséquent respectables. Car il est naturel et selon Dieu que la force aide la faiblesse, que le voyant dirige l'aveugle. La loi d'humanité, qui protége et entoure de soins maternels les idiots les plus monstrueux, les crétins les plus dégradés, s'étend à toutes les races humaines. Il n'y a contre elles ni droit ni violence, ni droit de mensonge, ni droit de mort. Contre les faibles, il n'y a que le droit de charité (1). »

Mais ces conséquences, pour si grandes et si élevées qu'elles soient, ne sont pas les seules que Gratiolet ait tirées ou

(1) *Anat. comp.*, t. II, ch. VII.

(2) Recherches sur la microcéphalie, considérée dans ses rapports avec la question des caractères du genre humain. (*Mém.*, *Soc. d'anthropologie*, t. I, p. 66. Paris, 1860.)

(3) Cette pensée de Pascal a été fort heureusement choisie par M. Grandeau pour épigraphe de la notice pleine de cœur et d'élévation qu'il a consacrée à la mémoire de Gratiolet.

(4) *Anatomie du système nerveux*, etc., t. II, p. 119.

(1) *Mémoire sur les plis cérébraux de l'Homme et des Primates*, Paris, A. Bertrand.

Digitized by Google

cherché à tirer de ses profondes études sur le système nerveux. Face à face et courageusement, il a envisagé le redoutable problème de la cause de nos idées. Toutes ses observations le fortifient dans sa conviction première, qu'il est en nous un principe supérieur à la matière et qui n'a rien à redouter du temps : « Absurdité pour absurdité, dit-il, il serait en réalité plus logique de nier l'essence matérielle que celle de la pensée. » Mais les ébranlements de cette essence ne sont pas tous spontanés; beaucoup proviennent, à l'insu de la conscience, des impressions, du corps, et parfois même domptent la volonté. Dans son étude expérimentale de la mémoire, des songes, des hallucinations, de l'influence des mouvements extérieurs et des attitudes du corps sur l'imagination, ou réciproquement, Gratiolet se montre admirable de prudence et de sagacité, supérieur aux naturalistes par sa connaissance familière des plus obscurs dédales de la métaphysique, supérieur aux métaphysiciens dont il évite heureusement les sophismes subtils, par sa science de la nature.

Je ne saurais en ce moment le suivre dans ces régions élevées; pas davantage ne pourrais-je vous exposer ses idées, ou, selon son expression modeste, ses inductions et ses hypothèses sur la manière dont on peut concevoir entre les phénomènes intellectuels et l'organisation intime du cerveau un rapport naturel et intelligible.

Aussi bien il est temps de m'arrêter dans cette analyse où je me laissais entraîner : il ne faut pas fatiguer les auditeurs en racontant la vie de celui qui savait si bien les charmer. Je veux cependant vous dire, mais rapidement, comment, par l'étude du cerveau, Gratiolet a démembré ce groupe audacieux des singes anthropomorphes, ces Titans du règne animal dont l'escalade menace l'humanité, faisant de l'orang un gibbon, du chympanzé un macaque, du gorille un simple cynocéphale. Je ne puis qu'indiquer les progrès que ses recherches sur les centres nerveux ont fait faire à la classification des animaux, et vous montrer Gratiolet déterminant, à l'aide d'un fragment du crâne où les circonvolutions cérébrales avaient laissé leurs empreintes, l'animal fossile auquel il avait appartenu. J'énumérerai plus rapidement encore ses beaux travaux sur l'anatomie de la térébratule et de la lingule, sur le système vasculaire des reptiles, sur celui de l'hippopotame ou des sangsues, et je passerai forcément sous silence tant d'autres modèles de monographies anatomiques où sa patience et sa sagacité se sont montrées dignes des qualités les plus élevées de son esprit (1).

Tant de science et tant de travail allaient enfin trouver asile et récompense (2). Déjà, en 1858, un ministre dont les amis de Gratiolet doivent prononcer le nom avec reconnaissance, M. Rouland, lui avait fait décerner la croix de la Légion d'honneur. Gratiolet l'avait acceptée avec une satisfaction que ne taxeront pas de vanité ceux qui savent comment, au sortir des journées néfastes de juin 1848, capitaine dans une batterie de l'artillerie de la garde nationale, il avait, comme son digne ami M. Ange Blaize, refusé noblement la croix méritée par son courage, pour ne pas porter à son côté un souvenir toujours présent de ces luttes douloureuses.

Quelques années plus tard, la mort d'un naturaliste éminent, digne fils d'un illustre père, la mort d'Isidore Geoffroy Saint-Hilaire (1), laissait vacante une des places de professeur de zoologie à la Faculté des sciences de Paris, celle-là même qu'avait autrefois illustrée de Blainville. Cette fois, enfin, Gratiolet put s'asseoir dans la chaire de son maître (2). Il reçut la nouvelle de sa nomination avec joie, sans doute, mais en même temps avec une certaine tristesse qui semblait un pressentiment.

C'est à la Sorbonne qu'il me fut donné, pour la première fois, de l'entendre en public, pendant une série de leçons savamment ordonnées. Lui, dont la facilité d'exposition était entraînante, il apportait à la préparation de ses cours un soin scrupuleux; de même que notre intelligence n'a pas besoin, grâce à une organisation merveilleuse, de s'inquiéter des mouvements automatiques du corps, de même, pensait-il, la parole et l'imagination du professeur doivent être libres et débarrassées du souci de coordonner les idées et les faits. Arrivé dans sa chaire, il commençait sur un ton assez bas, les yeux à demi fermés, avec une sorte d'expression de souffrance; mais bientôt son geste devenait plus nombreux, sa diction plus pressante; sa main suivait au tableau noir, avec une merveilleuse sûreté, ses descriptions orales, en leur donnant un corps : toujours clair, élégant, précis, il intéressait et charmait jusque dans les plus arides détails. Mais se présentait-il quelqu'une de ces grandes questions à la hauteur desquelles aimait à planer sa pensée, voulait-il montrer dans les harmonies naturelles les traces d'une intelligence infinie par la puissance et par l'activité, voulait-il, analysant les facultés de l'esprit humain, en tirer la preuve qu'il existe en nous un principe immortel, ou s'agissait-il de la dignité de l'homme et des théories récentes qui l'attaquent dans son isolement, alors sa parole ardente servait éloquemment sa pensée enthousiaste, et, dans l'éclat de ses regards, dans l'animation de son geste, il apparaissait vraiment comme une épée flamboyante, interdisant à la plèbe animale l'Éden de l'humanité.

Mais qu'ai-je à faire de tenter une insuffisante peinture? Beaucoup d'entre vous, messieurs, ont entendu Gratiolet, dans cette enceinte même, dévoiler avec un art merveilleux les secrets de la physionomie, et, selon la juste expression de M. Chevreul, « faire d'un sujet anciennement vulgaire une œuvre précise, profonde et originale ».

Cette conférence tant admirée n'était que l'abrégé d'un traité complet, d'un livre que j'ai retrouvé tout entier dans les papiers de mon bien cher maître, où, depuis plus de dix ans, il attendait l'impression, rendue possible aujourd'hui par le concours généreux de M. Hetzel. Je ne saurais essayer, à la fin de cette notice déjà longue, une analyse de cet important ouvrage; mais je veux vous montrer le talent de Gratiolet sous un nouveau jour encore. Après la naturaliste, l'orateur et le philosophe, c'est le peintre que nous allons admirer, peintre par la parole, où il fut maître complet. Il s'agit, dans cette étude du langage universel, de prouver que les attitudes du corps entier traduisent le sentiment de plaisir perçu par un organe quelconque. Écoutez ce portrait :

(1) La liste complète des travaux de Gratiolet se trouve à la suite de son livre sur la *Physionomie et les mouvements d'expression*. Paris, Hetzel, 1865.

(2) Ce sont les expressions mêmes de la lettre par laquelle M. Rouland annonçait à Gratiolet qu'il le chargeait du cours d'Isidore Geoffroy Saint-Hilaire à la Faculté des sciences de Paris : lettre que nous ne pouvons reproduire ici, mais qui honore également et celui qui l'a écrite et celui qui l'a reçue.

(1) 10 novembre 1861.

(2) Chargé du cours en 1862; nommé professeur le 22 novembre 1863.

Digitized by Google

« Donnez à un petit carnassier, à un petit chat, par exemple, quelque liquide savoureux et sucré ; voyez-le s'avancer lentement et flairer avec attention : ses oreilles se dressent ; ses yeux, largement ouverts, expriment le désir; sa langue, impatiente, lèche ses lèvres, caresse et déguste d'avance l'objet désiré. Il marche avec précaution, le cou tendu. Mais il s'est emparé du liquide embaumé; ses lèvres le touchent, il le savoure; l'objet n'est plus désiré, il est possédé; le sentiment que cet objet éveille s'empare de l'organisme entier ; le petit chat ferme alors les yeux, se considérant lui-même tout pénétré de plaisir. Il se ramasse sur lui-même, il fait le gros dos, il frémit voluptueusement, il semble envelopper de ses membres son corps, source de jouissances adorées, comme pour le mieux posséder ; sa tête se retire doucement entre ses deux épaules, on sent qu'il cherche à oublier le monde, désormais indifférent pour lui ; il s'est fait odeur, il s'est fait saveur, et il se renferme en lui-même avec une componction toute significative (1). »

Avouez maintenant, messieurs, que la plume de Gratiolet pouvait remplacer le pinceau; songez, je vous prie, que pour vous en citer cette preuve, j'ai longtemps hésité par l'embarras du choix, et vous ne vous étonnerez pas des applaudissements chaleureux, du succès sans égal qu'obtint cette conférence, véritable chef-d'œuvre d'observation spirituelle et savante.

Ceci se passait le 20 janvier 1865. Gratiolet avait quarante-neuf ans.

Cette fois enfin, les vents ennemis étaient apaisés ou domptés ; de nouveau l'espérance aux ailes dorées s'élançait devant lui vers un horizon d'où les nuages avaient disparu. Sa jeune famille grandissait ; ses amis jouissaient de sa joie ; son aimable gaieté, échappée aux orages, n'était plus troublée parfois que par cette mélancolie des grands esprits, impatients de l'inconnu. Libre enfin des soucis matériels, il se disait vraiment heureux, quand, le 15 février 1865, l'apoplexie le frappa comme elle avait frappé Blainville.

Quelques heures après, à la place de ces joies et de ces espérances, que restait-il ? Des amis en pleurs, trois petits enfants, une veuve qui s'est fait un culte de sa douleur.

Il restait encore, je ne puis m'empêcher de le dire, il restait pour l'enseignement scientifique en France une de ces grandes et sévères leçons dont les institutions humaines, si elles veulent assurer et honorer leur existence, doivent savoir profiter.

Mais ne nous arrêtons pas, messieurs, sur ces pénibles pensées. Oublions les tristes effets des erreurs et des faiblesses humaines, et puisons quelque consolation dans de plus nobles souvenirs.

Trois jours plus tard, à la tête du cortége funèbre qui accompagnait mon maître à sa dernière demeure, marchait, conduisant par la main l'aîné des enfants de Gratiolet, l'aîné des pupilles de notre Société, marchait un ministre (2) qui, pour suivre un cercueil, s'était héroïquement arraché au lit de mort où gisaient ses plus chères affections. Non loin du chef de l'Université, un vieillard pleurait amèrement : c'était un pauvre employé devenu invalide, auquel Gratiolet, sur ses simples appointements d'aide-naturaliste, donnait, à l'insu de tous, un secours de soixante francs par mois. Et, tout autour, une foule consternée s'entretenait des œuvres accomplies, des œuvres inachevées et de cette vie vaillante que la mort ne dépouillait d'aucun éclat emprunté.

Ainsi la douleur publique honorait non-seulement le professeur de Sorbonne, le maître de la parole et de la pensée, mais l'homme au cœur généreux dont on n'a pu faire un plus digne et plus juste éloge qu'en disant : « Son intelligence égalait sa bonté (1). »

P. Bert.

Professeur à la Faculté des sciences de Bordeaux.

(1) La conférence sur la *Physionomie* a été publiée dans le numéro 11 de la deuxième année de la *Revue des cours scientifiques*, p. 165.

(2) M. Duruy, ministre de l'instruction publique, qui n'épargna rien pour consoler et protéger l'infortune.

(1) Discours prononcé au nom de M. Chevreul, directeur du Muséum d'histoire naturelle, par M. Fremy, sur la tombe de Gratiolet.

De l'utilité des sciences spéculatives.

Mesdames et messieurs,

Il y a deux mois, j'étais auprès d'un ami dont la maladie touchait, hélas ! à sa dernière période. C'était un jeune homme; mais si jeune qu'il fût, il était classé déjà parmi les grands géomètres; il était professeur à l'École polytechnique, et le plus brillant avenir s'ouvrait devant lui.

Sa parole était animée, instructive, comme elle le fut d'ailleurs jusqu'au dernier instant. — La conversation tomba sur l'utilité des sciences spéculatives. « Vous devriez, me dit-il, traiter cette question à votre conférence de la Société des amis des sciences. » — On venait de m'offrir l'honneur de porter la parole devant vous. — « J'ai, ajouta-t-il, quelques mots de Biot sur ce sujet, ce serait une excellente épigraphe. » J'acceptai, comptant sur son secours.

Huit jours après, Edmond Bour avait cessé de vivre.

J'aurais dû, peut-être, renoncer à ce sujet qui est tout à fait en dehors de mes études habituelles ; mais nous en étions convenus, et surtout j'étais heureux de rencontrer l'occasion de lui dire un dernier adieu, et de le dire devant les amis de la science.

Voici ces paroles de Biot :

Depuis cinquante ans, les sciences ont rempli le monde de leurs merveilles. La navigation à vapeur, la télégraphie électrique, l'éclairage au gaz et celui qu'on obtient par la lumière éblouissante de l'électricité, les rayons solaires devenus des instruments de dessin, d'impression, de gravure, cent autres miracles humains que j'oublie, ont frappé les peuples d'une immense et universelle admiration. Alors la foule irréfléchie, ignorante des causes, n'a plus vu des sciences que leurs résultats, et comme le sauvage, elle aurait volontiers trouvé bon que l'on coupât l'arbre pour en avoir le fruit, allez donc lui parler d'études antérieures, des théories physiques et chimiques qui, longtemps élaborées dans le silence du cabinet, ont donné naissance à ces prodiges ! Vantez lui aussi les mathématiques, ces racines génératrices de toutes les sciences; elle ne s'arrêtera pas à vous écouter. Elle ignore les antécédents et les dédaigne. »

Assurément, ce n'est pas à vous que s'adresse ce langage sévère, votre présence à cette réunion est la preuve irrécusable du vif amour que vous portez à la science pure; mais comme ce reproche d'inutilité a bien souvent frappé vos oreilles, je me propose de l'examiner avec vous, et j'espère vous montrer que, comme le dit Biot, les grandes inventions

Digitized by Google

qui sont la gloire de notre temps, ne sont que les applications de vérités abstraites que leurs auteurs cherchaient en vue seulement de les connaître, et en dehors de toute préoccupation utilitaire.

S'il est un mot qui éveille en nous l'idée du merveilleux, c'est, à coup sûr, celui d'électricité. Il n'en était pas ainsi chez les anciens, quoique six siècles avant Jésus-Christ Thalès de Milet eût reconnu que l'ambre jaune acquiert par le frottement la faculté singulière d'attirer les corps légers, et que le mot, *électricité*, soit tiré du nom grec qui désigne l'ambre jaune. C'est que les découvertes des anciens sur le fluide électrique se sont bornées à ce seul fait, et que les vingt-trois siècles qui suivirent celui où Thalès fit cette observation sont pour l'électricité comme s'ils n'avaient pas existé. Ce fait a d'autant plus lieu de nous surprendre que la civilisation des anciens s'est élevée dans d'autres directions, telles que l'étude du cœur humain, les beaux-arts, à des hauteurs que nous avons peine à dépasser, quelquefois même à atteindre aujourd'hui. D'ailleurs, cette lacune n'est pas isolée; on la retrouve dans l'histoire de la vapeur et des autres inventions dont les premiers linéaments apparaissent dans l'antiquité. A quelle cause attribuer cet arrêt dans l'essor de la civilisation? à ce que les philosophes anciens,— les savants de l'antiquité, — considéraient toute recherche sur la matière comme indigne d'un esprit élevé, et par suite, à ce qu'ils ne pratiquèrent pas la méthode expérimentale, base des sciences physiques et naturelles. Tous les écrits des anciens attestent la vérité de cette assertion, je me contenterai de deux citations prises, l'une en Grèce, l'autre à Rome.

Platon dit d'un géomètre auquel on attribue la découverte de divers appareils fondés sur une application des mathématiques : « Qu'il corrompt la géométrie, et qu'il lui fait perdre sa » dignité en l'obligeant, comme une esclave, à descendre des » choses immatérielles aux objets corporels et sensibles. »

Sénèque, à propos de diverses découvertes attribuées à Démocrite, s'exprime ainsi :

« On dit que Démocrite a donné le moyen de fabriquer par » l'action du feu des émeraudes artificielles, et de colorer par » la cuisson diverses pierres. Si ce fait est vrai, c'est, quoique » sage et non comme sage, car le sage fait beaucoup de choses » que font aussi les hommes les plus étrangers à la sagesse.

» C'est ainsi qu'il peut arriver qu'un philosophe soit léger » à la course, mais il devancera ses rivaux en tant que léger » et non en tant que sage. »

Or, aujourd'hui, nous ne considérons pas Ebelmen, de Sénarmont, M. Henri Deville, comme moins savants, parce qu'ils ont reproduit des pierres naturelles; ce sont, au contraire, parmi leurs nombreux titres scientifiques, ceux que nous plaçons au premier rang parce qu'ils nous éclairent sur le mode de formation de la terre, qu'en un mot ils nous font mieux connaître notre domaine. Quant au moyen âge, on sait qu'il se consuma en controverses oiseuses sur les mots au lieu d'étudier les choses.

Enfin, Galilée, Bacon et Descartes vinrent. Laissant de côté toutes les discussions stériles qui, depuis deux mille ans, énervaient l'esprit humain et entravaient sa marche, ils se contentèrent simplement d'interroger la nature en observant les faits et en les comparant entre eux, afin de remonter ainsi, d'échelons en échelons, aux lois qui les régissent, aux causes qui les produisent. Leux voix fut écoutée, car aussitôt se réveillèrent ces inventions étouffées dès leur naissance, et en surgirent de nouvelles : la machine électrique, la bouteille de Leyde, sont, dans la science qui nous occupe, les fruits de la méthode expérimentale.

Ces découvertes donnèrent lieu à une foule d'expériences curieuses, amusantes même; on s'engoua de l'électricité comme de notre temps on s'est engoué de la photographie, et, pour n'en citer qu'un exemple, on vit un jour l'abbé Nollet donner la commotion à un régiment entier de gardes françaises faisant la chaîne devant le roi et toute la cour.

L'électricité ne resta pas un jouet; bientôt les savants, frappés des analogies de l'éclair avec l'étincelle, du tonnerre avec le bruit des machines, pressentirent l'identité de la foudre et de l'électricité, et peu après ils en fournirent la preuve en chargeant des machines avec le fluide soutiré des nuages orageux.

La récompense ne se fit pas attendre : en 1760, Franklin créait le paratonnerre; or ici, le lien qui rattache la pratique à la théorie est tellement étroit, qu'il serait superflu d'insister sur la part considérable qui revient à la science pure dans cette invention bienfaisante qui ravit nos pères d'une juste admiration, et inspira le premier hémistiche de ce vers célèbre quoique un peu prétentieux :

Il ôte au ciel la foudre, et le sceptre aux tyrans.

La science ne s'est pas bornée à rendre la foudre inoffensive. L'histoire de l'électricité entre aussitôt dans une nouvelle phase, et nous allons voir le génie de l'homme changer ce fluide capricieux et dévastateur en un ouvrier docile et laborieux.

Un soir de l'année 1780, Galvani, professeur d'anatomie à Bologne, ayant par hasard abandonné les membres inférieurs d'une grenouille sur la table d'une machine électrique, on dit que sa femme qui, comme beaucoup de femmes de savants, se plaisait à suivre les travaux de son mari, s'aperçut que les membres de la grenouille se contractaient chaque fois que l'étincelle jaillissait. Elle en fit part à Galvani, et celui-ci, d'expériences en expériences, reconnut qu'il se produit un dégagement d'électricité toutes les fois qu'on réunit les muscles des jambes et les nerfs du dos d'une grenouille par une tige formée de deux métaux. Galvani attribua cette électricité à l'animal; d'après Volta, elle tenait au contact des deux métaux. Tous deux avaient tort, et il était réservé à M. Becquerel, qui nous fait l'honneur d'assister à cette réunion, de donner la véritable explication de cette mémorable expérience. Mais la lutte qui s'engagea entre Galvani et Volta eut un immense résultat, elle nous a légué le plus merveilleux des instruments, la pile électrique ou pile de Volta; je dis le plus merveilleux des instruments, parce qu'il donne l'électricité sous forme d'un courant invisible qu'on produit, qu'on interrompt, qu'on ranime, qu'on modère, qu'on arrête à volonté, et qui réalise pour nous les surprises et les prodiges des contes de fées qui ont bercé notre enfance. Plus il accorde, plus on lui demande, et rien ne peut faire prévoir aujourd'hui la limite de ses services, la mesure de ses bienfaits. En voici quelques-uns :

En 1807, un savant anglais, Davy, découvre l'intensité de la chaleur que la pile développe, et il l'utilise pour fondre et volatiliser les corps les plus réfractaires. Il observe sa puissance pour la décomposition des corps, et aussitôt il retire de la potasse et de la soude les métaux remarquables que ces alcalis recèlent.

Digitized by Google

La lumière électrique rivalise d'éclat avec celle du soleil; nous nous en servons aujourd'hui pour illuminer la mer du haut des phares, pour éclairer les chantiers où l'urgence nécessite un travail de nuit.

Qu'on arrive à produire ce courant à bon marché, et il détrônera la vapeur qu'il peut égaler en puissance et qu'il surpasse en précision.

Enfin, les dernières guerres, des essais plus récents encore ont montré que le courant, en passant par la machine Rhumkorf, peut, à de fortes distances, mettre le feu à des engins de guerre redoutables.

A cette chaleur, à cet éclat, à cette énergie dans l'action et surtout dans la destruction, on reconnaît le fluide de la foudre; mais vous allez le voir transformé.

En 1819, un savant danois, Œrstedt, démontre que le courant électrique imprime une déviation à l'aiguille aimantée. Cette découverte devient entre les mains d'Ampère la source d'une nouvelle branche de la physique, l'électro-magnétisme, et le conduit à établir l'identité du magnétisme et de l'électricité. Mais à peine ce savant a-t-il imaginé les électro-aimants, c'est-à-dire les outils de cette science, que Wheasthone et Morse créent la télégraphie électrique, qui transmet silencieusement et en quelques instants la pensée humaine aux extrémités du monde.

A peine un autre savant, M. de la Rive, a-t-il montré que la pile permet de dorer et d'argenter les métaux, qu'Elkington imagine l'art, si vulgaire aujourd'hui, de la dorure et de l'argenture galvaniques, grâces auquel la vaisselle de l'ouvrier est recouverte des métaux précieux qui étaient l'apanage de quelques-uns. Voyez avec quelle facilité, avec quelle rapidité s'obtiennent ces merveilleux résultats. Voici une lame de fer: je la plonge dans un bain de cuivre, elle en sort avec la teinte rouge de ce métal; je l'introduis dans une solution d'argent, la voilà blanchie; je l'immerge dans un sel d'or, elle se revêt aussitôt de la riche nuance de ce nouveau métal. Un instant a suffi pour superposer ces trois métaux au fer, et ces métaux ne sont pas en poudre brune, ils ont la rigidité, l'aspect et toutes les propriétés que la fusion seule pouvait leur donner avant la découverte de la pile.

En 1838, un savant russe, Jacobi, crée la galvanoplastie. Rien n'est plus simple et plus curieux à la fois. Prenez un sel de cuivre très-commun, le vitriol bleu, dissolvez-le dans l'eau et faites passer un courant électrique dans cette liqueur; le cuivre qu'elle contient se sépare sans bruit et se porte docilement en un point déterminé; si vous avez mis à cette place un objet métallique, il se recouvrira de cuivre, et en séparant l'objet vous en aurez l'empreinte fidèle. Eh bien! supposez qu'ayant une médaille, un bas-relief, une planche gravée, une statue même, vous la mouliez avec du plâtre, de la cire, de la gutta-percha, et que vous plongiez ce moule, convenablement préparé, dans le bain, le cuivre pénétrera dans les plus petites cavités du moule et donnera la reproduction de l'objet avec une fidélité que l'artiste le plus scrupuleux et le plus habile tenterait en vain d'imiter.

On obtiendra donc autant d'épreuves de l'objet primitif qu'on le désirera et sans altérer ce modèle; comme il sera possible ensuite de dorer ou d'argenter ces reproductions si l'objet était d'or ou d'argent, il est clair que ces reproductions, bien que possédant exactement tous les caractères du modèle auront une valeur infiniment moindre.

Aujourd'hui, l'électro-métallurgie n'est plus seulement une science, elle est, en outre, un art et une industrie; elle constitue un art, parce qu'elle se prête, comme nous venons de le voir, à la production d'objets qui doivent leur valeur à la forme qu'ils possèdent et non à la matière qui les constitue; c'est une nouvelle branche de la sculpture et de la gravure, et comme elle donne de très-beaux résultats à des prix très-peu élevés, elle est très-florissante et elle est destinée à un très-grand avenir. Quant à l'industrie, elle a acquis déjà des proportions très-considérables, et il suffit de citer les ateliers de M. Chistofle, de M. Oudry, de dire que c'est à son aide que M. Hulot fabrique à la Monnaie tous les timbres-poste pour en avoir une idée. La maison Christofle, qui est la seule pour laquelle j'ai pu me procurer des renseignements, a réalisé depuis 1841 un chiffre d'affaires de 100 millions; il a été de 9 millions pour l'année passée. 74 000 kilogrammes d'argent ont été déposés dans cette usine; si on les étalait, à l'épaisseur moyenne adoptée, sur la surface du Champ-de-Mars, le métal précieux déborderait tout autour. 8 millions couverts ont été argentés et ils n'ont enlevé au commerce que 10 millions, tandis que la même quantité de couverts d'argent massif aurait retiré de la circulation plus de 300 millions de numéraire, différence qui, au point de vue économique, n'est pas sans importance. Enfin, 60 000 francs ont été consacrés exclusivement, l'an passé, à l'exécution de modèles artistiques; en conséquence, cette industrie est d'un puissant secours pour les artistes.

Eh bien! je vous le demande, quel esprit assez perçant, quelle imagination assez aventureuse aurait jamais pensé que tous ces prodiges, et tant d'autres que je passe, résulteraient, en un demi-siècle, de l'étude attentive de ce qui se produit quand les trois corps vulgaires qui constituent la pile de Volta sont mis en présence. Et n'est-il pas évident que sans Volta, sans Œrstedt, sans Ampère, sans M. de la Rive, sans M. Jacobi nous serions privés de toutes ces merveilles.

La chimie a marché sur les traces de la physique son aînée, et par ses débuts on à l'idée de ce qu'elle réserve à nos enfants.

Lavoisier venait de jeter les bases de cette science, lorsque l'Europe, coalisée contre notre pays, la priva du soufre de Sicile et des soudes d'Espagne. La France en appelle à ses enfants, et la chimie lui répond en improvisant la fabrication de ces matières avec les produits de notre sol.

Voici un résultat plus surprenant encore. Vers les trois quarts du siècle dernier, un grand savant, Scheele, pauvre pharmacien d'une ville de Suède ignorée, découvre que le chlorure d'argent, matière d'un blanc parfait, se colore aux rayons du soleil. Plus tard, Gay-Lussac, M. Balard, reconnaissent la même propriété à l'iodure et au bromure de ce métal. D'autres savants, Charles, Davy, Wedgewood, conçoivent l'idée de tracer des images par l'action de la lumière sur des sels d'argent. Ils échouent, mais après avoir nettement posé le problème; on le croit abandonné, lorsque tout à coup, le 7 janvier 1839, Arago annonce à l'Académie des sciences qu'un artiste français, Daguerre, après de longs travaux exécutés en commun avec Niepce, mort quelques années auparavant, est enfin arrivé à dessiner par le soleil et les sels d'argent.

Eh bien! n'est-il pas manifeste que si Scheele n'avait pas coloré le chlorure d'argent, si d'autres savants n'avaient pas énoncé la possibilité de graver par la lumière, nous n'aurions pas la photographie, c'est-à-dire une invention qui, pour Paris seulement, a produit, l'an passé, un commerce de 24 millions, qui est un auxiliaire puissant des sciences, de

Digitized by Google

l'archéologie, des beaux-arts, et grâce auquel nous tous, pauvres comme riches, participons au bonheur d'avoir l'image de ceux qui nous sont chers.

La photographie nous offre, dès lors, un second exemple d'une science qui a donné naissance à une branche des arts libéraux et à une industrie, car elle s'adresse, comme la galvanoplastie, aux trois éléments qui, groupés, représentent l'essence de la nature humaine : à l'esprit, au cœur, et à la matière.

Par conséquent, on est injuste envers la science quand on se contente de dire qu'elle fait pour le bien-être physique ce que la littérature, la poésie, font pour le bien-être moral. La science contribue puissamment aussi à l'ennoblissement de l'homme en mettant les chefs-d'œuvre de la sculpture, de la gravure, du dessin, de la peinture, à la portée de tous, en les démocratisant, car il n'est pas douteux que la vulgarisation de ces objets n'élève l'esprit, n'épure le goût et ne devienne un puissant levier de moralisation.

La science n'a pas dit son dernier mot, et elle vient d'apprendre au photographe à se passer du concours capricieux du soleil. En 1828, M. Bussy, le savant directeur de l'École de pharmacie de Paris, a retiré d'une substance médicinale, la magnésie, un métal brillant comme l'argent, le magnésium. Malheureusement, il prend feu à une température si faible qu'on ne peut songer pour ce corps aux emplois ordinaires des métaux; mais heureusement il brûle avec un éclat éblouissant, et le photographe fait servir cet éclat à la reproduction des scènes nocturnes et des localités souterraines.

Cette idée à peine réalisée en a fait naître une autre, car en Amérique, paraît-il, diverses salles de spectacle sont éclairées à la lumière du magnésium. Que ce métal reçoive quelque importante application, et alors la chimie donnera le moyen de le retirer économiquement de l'eau des mers.

On sait que pour préparer le sel ordinaire dans nos climats on expose l'eau de mer dans de vastes bassins, nommés *marais salants*, à l'évaporation spontanée produite par l'action du soleil et des vents. Lorsqu'à la fin de l'été le sel s'est déposé sur le fond du marais, on rejette l'eau dans la mer; opération barbare, car M. Balard a montré que cette eau mère récèle de vrais trésors : le brome, corps simple que la photographie commence à utiliser; le chlorure de magnésium, qui m'amène à vous parler de ce sujet; le sulfate de soude, dont la fabrication des verres et des savons exige des quantités immenses; enfin, des sels de potasse dont le prix s'élève chaque jour parce qu'on les retire de la cendre des bois et que les forêts à défricher deviennent de plus en plus rares.

Les procédés de M. Balard sont restés fort longtemps à attendre une solution industrielle, parce qu'il faut, pour traiter ces eaux mères, commencer par les refroidir à 18 degrés au-dessous de 0 degré, et que l'on ignorait le moyen d'obtenir cette réfrigération intense avec économie et sur une grande échelle. Aujourd'hui, cette lacune est comblée grâce à une machine inventée par M. Carré, et cet exemple prouve, une fois de plus, que tout s'enchaîne dans les sciences, qu'une découverte en fait surgir d'autres, parce qu'elle donne le moyen de vaincre des obstacles infranchissables avant elle. La machine Carré est la reproduction amplifiée et économique d'un petit appareil imaginé par Faraday pour la liquéfaction des gaz. Ce dernier est un simple tube de verre qui a la forme d'un V renversé; supposons qu'on se propose de liquéfier le gaz ammoniac, on mettra dans l'une des branches du chlorure d'argent saturé de gaz ammoniac (ce sel en absorbe de fortes préparations) et on le chauffera légèrement, en ayant soin de plonger l'autre branche du tube dans l'eau froide. Le gaz ammoniac, expulsé du chlorure par la chaleur, s'accumulera dans le tube et exercera une pression assez considérable pour qu'une partie du gaz devienne liquide, puis ce liquide se condensera dans la branche refroidie du tube.

Qu'on abandonne alors cet appareil à la température ordinaire, l'ammoniaque liquéfié reprendra l'état gazeux et se redissoudra dans le chlorure, de telle sorte que ce tube pourra servir de nouveau et indéfiniment à reproduire ce double phénomène; mais — et c'est le point capital — au moment où le liquide reprendra l'état gazeux, ce passage d'un état à l'autre produira un froid intense.

Dans les machines que construisent MM. Mignon et Rouart d'après le système Carré, le tube de Faraday, qui est petit et fragile, est remplacé par un appareil de fonte qui est grand et résistant, et l'on substitue au chlorure d'argent, matière chère et altérable, l'eau dont le prix est nul et la stabilité complète.

Revenons maintenant à l'eau mère des marais salants, et soumettons-là au froid produit par l'appareil Carré. De limpide qu'elle était elle devient trouble, et ce trouble provient d'un dépôt d'une foule de petits cristaux; ces cristaux sont le sulfate de soude. Séparons-les; restera une nouvelle eau de laquelle on retirera par évaporation la potasse et la magnésie. Tel n'est pas le seul usage de l'appareil Carré, il sert déjà à préparer la glace et les boissons glacées, et nos enfants — ou nous-mêmes peut-être — verront ces machines ou d'autres analogues utilisées pour la création de frigorifères qui apporteront dans nos maisons la fraîcheur de même que les calorifères y répandent la chaleur; on aura un robinet pour le froid comme on a un robinet pour la chaleur, pour la lumière et pour l'eau.

Souvent la science va d'elle-même au devant des applications, et souvent sa voix n'est pas écoutée. Chacun a l'esprit encore frappé par ces pertes cruelles que le monde, que les arts ont éprouvées dans ces années dernières par suite de la trop grande combustibilité de nos tentures, et surtout des étoffes qui forment vos habillements, mesdames. La statistique a révélé qu'en Angleterre plus de 500 personnes ont péri chaque année de 1852 à 1857 dévorées par le feu. L'ampleur et la longueur croissante des vêtements n'ont fait qu'accroître le mal, et je crois ne rien exagérer si, me basant sur la vivacité naturelle à notre nation, sur cet amour du luxe dont on parle tant, même à la Sorbonne, j'admets que ces accidents ne sont pas plus rares dans notre pays. Eh bien, depuis quarante ans les professeurs répètent dans leurs cours que la gaze la plus légère allumée en un point cesse de transmettre la flamme quand on a mêlé l'empois à de petites quantités de matières salines, telles que le tungstate de soude, le phosphate d'ammoniaque, et cependant jamais cette application n'a pu se développer en France. Les Anglais, — les Anglaises plutôt — ont donné cet exemple, mais je me hâte d'ajouter pour ne pas froisser notre amour-propre national que cette industrie n'a pu se soutenir chez nos voisins. L'étoffe, paraît-il, perd un peu de son brillant, de sa souplesse, et l'on aime mieux courir le risque d'être brûlé.

Le savant ne se contente pas de prêcher par la parole, il y joint souvent l'exemple, il descend dans l'arène industrielle. Quand M. H. Deville eut établi les propriétés remarquables de l'aluminium, il mit la main à l'œuvre, et la métallurgie lui doit deux méthodes nouvelles : la fabrication de l'aluminium

Digitized by Google

et celle du sodium. Lorsque M. Pasteur eut découvert la théorie de l'acétification de l'alcool, il imagina un nouveau procédé pour la préparation du vinaigre.

Le temps me manque pour vous rappeler les bienfaits des sciences naturelles. Qui ne connaît l'éminent service que Parmentier a rendu à notre pays en étudiant les propriétés de la pomme de terre. Dès l'année 1771, il avait constaté que ce tubercule renferme de fortes proportions d'amidon, matière des plus nutritives, et qu'il ne contient aucune substance dangereuse. Il eut recours à une foule de stratagèmes pour vaincre l'ignorance et la routine, et ce n'est qu'après quarante ans d'efforts qu'il s'écria un jour : « *La pomme de terre n'a plus que des amis.* » Sa consommation va sans cesse en croissant et elle avait atteint en 1855 le chiffre énorme de 94 813 360 hectolitres.

Qui n'apprécie l'influence salutaire qu'a exercée sur le commerce, sur les mœurs des classes élevées de la société, le botaniste qui a transporté d'Europe à la Martinique le pied de café duquel sont issus tous ceux des colonies.

Qui ne sait enfin que les dunes de la mer de Gascogne envahissaient les Landes, que le rare habitant de ces contrées désolées s'était résigné à voir enterrer ou noyer sa maison et son champ, que Brémontier, suivant les conseils de Daubenton, a dit à ces dunes : *Arrêtez;* qu'aujourd'hui non-seulement les Landes ne sont plus le jouet des vents et des flots, et qu'au contraire elles se transforment chaque jour en forêts et en terres cultivées.

C'est aux mathématiques surtout qu'on adresse le reproche d'inutilité. La cause en est simple; Fontenelle l'a donnée dans les termes suivants :

« On traite volontiers d'inutile ce qu'on ne sait point, c'est une espèce de vengeance; et comme les mathématiques sont assez généralement inconnues, elles passent assez généralement pour inutiles. La source de leur malheur est manifeste, elles sont épineuses, sauvages et d'un accès difficile. »

Ce reproche est d'autant plus injuste que les mathématiques ont un double droit à notre reconnaissance. Et d'abord elles sont les racines des autres sciences, en ce sens que celles-ci ne sont fructueuses qu'à la condition d'être précédées en une certaine mesure par l'étude des mathématiques; d'autre part les travaux des géomètres — et les plus ardus — ont des résultats éminemment pratiques et civilisateurs.

Aujourd'hui le navigateur, grâce à la mécanique céleste, n'a plus à craindre de s'égarer dans l'immensité de l'Océan. Un coup d'œil sur la voûte étoilée lui révèle le point où il se trouve, un regard sur sa boussole lui apprend la route qu'il doit suivre. Par conséquent, sans ces recherches dont l'abstraction effraye, sans ces calculs dont la longueur épouvante nous n'aurions pas, à beaucoup près, ce trafic immense de plus de 5 milliards qui nous apporte les denrées des pays les plus lointains en échange des produits de nos industries; nos missionnaires et nos voyageurs ne seraient pas allés dans plusieurs régions sauvages porter les lumières de notre religion et de notre civilisation.

A Dieu ne plaise, messieurs, que vous puissiez conclure de mes paroles que le savant s'attribue tout le mérite de ces grandes inventions. Telle n'est pas ma pensée, je me plais à reconnaître au contraire qu'il y a souvent tout autant et plus de difficultés, et par suite tout autant et plus de mérites à faire passer une découverte du champ des spéculations au champ des applications qu'il en a fallu pour découvrir le fait théorique qui en est l'origine. Wheasthone et Morse, Elkington, Niepce et Daguerre ont à côté des savants dont ils ont appliqué les travaux une place éminente que la science pure n'a garde de leur contester. J'ai voulu seulement établir ce point capital que l'origine de ces découvertes est la science spéculative, que l'abandon de celle-ci aurait pour contrecoup fatal un arrêt dans l'essor de la civilisation, que toute vérité, quelque abstraite, quelque modeste qu'elle paraisse, porte en elle le germe d'une application, tout aussi bien, comme on le dit quelquefois, que chacun de nos soldats porte dans sa giberne son bâton de maréchal.

Le germe de l'application se développera-t-il? Nul ne le sait, le temps seul se réserve de l'apprendre; mais alors même qu'il resterait stérile, cette idée en suscitera d'autres qui seront fertiles. Aussi lorsque vous entendrez taxer de futilités, de jeux d'esprit les recherches spéculatives, répondez avec Franklin : Eh qui sait ce que fera l'enfant qui vient de naître, peut-être sera-t-il la gloire de sa patrie, l'honneur de l'humanité!

ALF. RICHE,
Professeur agrégé à l'École de pharmacie de Paris,
répétiteur à l'École polytechnique.

ASSOCIATION SCIENTIFIQUE DE FRANCE.

CONFÉRENCE DE M. A. BERTIN.

Sur la constitution de la glace.

Messieurs,

Bien loin d'avoir ambitionné l'honneur de porter la parole dans cette assemblée, je n'ai accepté qu'avec crainte la mission qui m'était imposée par notre illustre président, et dans ce moment même je désespérerais de pouvoir la remplir si je ne savais que je puis compter sur toute votre bienveillance.

Je vous propose d'étudier la constitution de la glace : j'ai choisi ce sujet parce qu'il présente des aspects qui pour être connus ne sont pas vulgaires, et parce qu'il offre un bel exemple des ressources que nous fournit l'optique pour étudier la nature intime des corps.

La glace se présente à nous sous plusieurs états.

Nous avons d'abord la neige, la grêle et le grésil, qui sont pour ainsi dire de la glace atmosphérique, car elles proviennent de la congélation de la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère. Laissant de côté la grêle et le grésil, qui ne sont que des concrétions de glace, si nous portons notre attention sur la *neige*, nous la voyons pendant l'hiver tomber, tantôt en gros flocons, tantôt en fine poussière, tantôt en figures cristallines très-élégantes et très-variées, dont le type général est toujours une étoile à six rayons. Voilà sur le tableau quelques-unes de ces figures agrandies, et il n'y a pas d'hiver que vous ne puissiez satisfaire votre désir de les observer à l'état naturel.

Quand la neige tombe sur les hautes cimes des Alpes, elle y forme ces champs de neiges éternelles qu'on rencontre au sommet de tous les glaciers. Elle conserve sa forme cristalline tant qu'elle est sèche, mais aux premiers rayons du printemps, elle fond à la surface, et l'eau pénétrant dans la profondeur dissout en partie ces cristaux, puis se regèle à son tour et finit par transformer la neige en une agglomération de grains arrondis, transparents, qu'on appelle le *névé*. Le névé est encore opaque comme la neige, à cause de la grande quantité d'air qu'il contient; mais il est beaucoup plus dense et par conséquent plus capable de résister à la fureur des vents; c'est de la glace en voie de formation, c'est l'embryon du glacier.

Digitized by Google

A mesure que l'imbibition continue, le névé se transforme à son tour, il devient de la glace qui, d'abord, est blanche et compacte, et qui, peu à peu, en descendant la vallée, se fendille, se remplit de fissures capillaires par lesquelles l'air s'échappe et l'eau s'introduit. C'est la *glace glaciaire*, qui, dans les crevasses, prend cette belle couleur *bleue* si admirée des touristes.

De plus, on rencontre sur le glacier un grand nombre de cavités remplies d'eau, et lorsque cette eau gèle à la surface, il s'y forme une couche qui est la *glace d'eau* et que tous les naturalistes distinguent soigneusement de la glace glaciaire : car si elle est aussi compacte que la glace bleue, elle est totalement dépourvue de ces fissures capillaires par lesquelles le glacier se nourrit, et dans lesquelles on voit souvent courir et sauter ce curieux petit être qu'on a appelé la puce des glaciers.

Je me reprocherais d'avoir oublié dans cette nomenclature une seconde forme de la glace d'eau, dont l'existence longtemps controversée est maintenant admise par tout le monde, d'après les observations faites sur le fleuve dont j'habite les bords. C'est la glace spongieuse qui se forme dans les bas-fonds des fleuves rapides, et que nos bateliers du Rhin connaissent depuis longtemps sous le nom de *Grundeis* ou *glace de fond*.

Ainsi voilà six espèces de glace bien caractérisées : la neige, le névé, la glace glaciaire, la glace bleue, la glace d'eau et la glace de fond. Quelle est celle que nous allons étudier? Évidemment c'est la seule que nous ayons maintenant à notre disposition, c'est la glace d'eau qui s'est formée cet hiver sur les canaux, les lacs, les étangs, et qui depuis lors a été conservée avec soin dans nos glacières. Voyons ce que cette étude nous offrira de plus intéressant.

Vous avez souvent admiré les charmants dessins que la vapeur d'eau forme en se gelant contre la face intérieure des vitres de nos appartements. Aujourd'hui que nous sommes heureusement déjà loin de ces soirées où un bon feu nous défendait à peine contre la bise qui soufflait au dehors, vous aurez peut-être quelque plaisir à revoir les dessins que le givre formait alors contre vos fenêtres, et qu'un habile amateur de Strasbourg, M. Haas, a trouvé le moyen de fixer éternellement sur le verre par l'ingénieux procédé que voici. Exposez pendant l'hiver à un courant d'air froid une vitre horizontale recouverte d'une mince couche d'eau : au bout de très-peu de temps l'eau sera gelée et la vitre tapissée de ces belles arborescences de givre que vous connaissez bien. Mais n'attendez pas trop longtemps pour les admirer, car la glace une fois formée s'évaporera comme l'eau, la vitre redeviendra sèche et tout aura disparu. Mais supposez que l'eau ait tenu en suspension la poudre d'émail des peintres verriers; cette poudre emprisonnée dans les cristaux de glace en reproduira les capricieuses figures et gardera la place où elle aura été déposée, lorsque la glace s'évaporera. Vous aurez donc des arborescences non de givre, mais d'émail, et si vous portez la vitre au four, l'émail en fondant fixera pour toujours sur le verre les arabesques fugitives de la nuit. Voici une vitre préparée de cette manière, c'est pour ainsi dire de la glace frite; je la projette sur le tableau, et vous voyez avec quelle fidélité des dessins du givre y sont reproduits.

Quand on se promène en hiver le long d'un canal qui commence à se prendre, on est frappé de l'aspect que présente la surface de l'eau et de sa ressemblance avec les vitres couvertes de givre; personne alors n'hésiterait à dire que l'eau cristallise en se gelant. Mais lorsqu'une fois la glace est devenue épaisse, qui pourrait encore reconnaître dans cette lame compacte, transparente comme du verre, la trace des cristaux primitifs? Et cependant cette glace doit être composée de cristaux : pour les mettre en évidence il suffit de les fondre par la chaleur, et vous verrez tomber l'une après l'autre toutes les parties de l'édifice cristallin bâti par le froid. Voici une lame de glace à travers laquelle nous faisons passer la lumière de la lampe électrique : la chaleur qui accompagne le faisceau lumineux détermine dans la glace des points de fusion, et si nous les projetons sur le tableau, nous y verrons apparaître les formes gracieuses du givre et de la neige. Chaque centre de fusion forme un point rond; c'est un espace vide qui représente la différence entre le volume de la glace et celui de l'eau toujours plus petit; puis autour de cet espace vide se groupent sur les rayons d'un hexagone les cristaux démolis par la chaleur, simulant à s'y méprendre ce que M. Tyndall appelle dans son admirable langage les *fleurs de la glace*.

Ainsi la glace est cristallisée, ou plutôt elle est formée de cristaux, voilà ce que l'expérience nous enseigne; mais est-elle un cristal véritable? C'est ce que nous ne savons pas encore.

Quel est, messieurs, le sens de cette nouvelle question : Nous appelons corps cristallisés ceux dans lesquels les molécules sont non-seulement cristallines, mais encore régulièrement orientées, c'est-à-dire ayant tous leurs axes semblables dans la même direction : nous disons au contraire que la cristallisation est confuse ou que le corps est amorphe, lorsque les molécules cristallisées ou non sont orientées de toutes les manières possibles. Ainsi l'alun, le sel gemme, le spath d'Islande, sont des cristaux, tandis que le verre est un corps amorphe. Dans quelle catégorie placerons-nous la glace? Est-ce un corps amorphe comme le verre? est-ce un cristal comme le spath?

La question serait oiseuse si la glace se présentait à nous en véritables cristaux. Elle a été aperçue quelquefois sous cette forme, notamment une première fois dans la glacière de Fondeurle en Dauphiné, que M. Héricart de Thury trouva tapissée de prismes de glace, les uns hexagonaux, les autres triangulaires; notamment une seconde fois sous un pont de Cambridge, d'où le docteur Clarke détacha plusieurs gros cristaux rhomboédriques de glace. Ce n'est pas de ces cas exceptionnels qu'il s'agit, c'est de la glace ordinaire, qui, au premier aspect, ne paraît pas plus cristallisée que le verre.

Pour démontrer qu'elle l'est réellement, il faut recourir à l'emploi de la lumière polarisée, et je suis ainsi amené à la seconde partie de ma tâche, celle qui a pour but de vous montrer, en prenant la glace pour exemple, quels moyens délicats et précis la science constituée par l'immortel génie de Fresnel a mis à notre disposition pour étudier la nature intime des corps.

Mais d'abord qu'est-ce que la polarisation? C'est une propriété singulière que l'on communique à la lumière par divers procédés et qui la rend incapable, dans de certaines conditions, soit de se réfléchir sur les corps les plus polis, soit de traverser les corps les plus transparents. Ainsi voilà un tube qui renferme un corps bien transparent, car il est formé avec ce spath auprès duquel le verre le plus pur paraît grossier; ce petit appareil s'appelle un *nicol*. Je le place sur le trajet de la lumière, de manière qu'elle passe par l'axe du tube, et je le tourne autour du rayon; vous voyez la lumière qui traverse dans tous les cas avec la plus grande facilité : la lumière incidente est de la lumière ordinaire ou naturelle. Mais la lumière émergente n'est plus dans le même cas; car, si je la fais passer à travers un second nicol et que je tourne ce-

Digitized by Google

lui-ci autour du rayon, je ne tarderai pas à trouver une position qui éteindra complétement le faisceau lumineux. La lumière qui sort du premier nicol n'est donc plus de la lumière naturelle, puisqu'elle ne peut plus traverser le second qui est cependant tout aussi transparent que le premier : c'est de la *lumière polarisée*.

L'ensemble des deux nicols constitue un appareil de polarisation. On pourra le varier de forme suivant les besoins; mais dans tous les appareils de polarisation, quels qu'ils soient, vous trouverez toujours à l'entrée un organe qui polarise la lumière, c'est le *polariseur*, le voici; et à la sortie, un organe pour reconnaître que la lumière est polarisée, c'est l'*analyseur*, le voilà.

C'est ici, entre le polariseur et l'analyseur, qu'il faut placer les substances que l'on veut étudier, et l'on pourra les faire traverser par la lumière de deux manières. Tantôt on conservera au faisceau lumineux son parallélisme, tantôt on le rendra convergent à l'aide d'une ou de plusieurs lentilles : de là deux espèces d'appareils de polarisation; les uns sont à *lumière parallèle*, les autres à *lumière convergente*. Nous allons employer succcessivement l'un et l'autre.

Voici d'abord l'appareil simple à *lumière parallèle*. Je tourne l'analyseur de manière qu'il éteigne la lumière et j'interpose entre les deux nicols successivement une lame de verre et une lame de spath perpendiculaire à l'axe, c'est-à-dire perpendiculaire à cette ligne que je place en ce moment verticalement devant vous et qui passe par les sommets du rhomboèdre; dans les deux cas vous ne voyez aucun effet produit. J'essaye ensuite une lame de spath oblique, ou mieux encore, cette feuille détachée d'un gypse en fer de lance si commun à Montmartre, et vous voyez apparaître une image d'une belle couleur. Je remplace la lame de gypse par une autre formée de plusieurs morceaux d'épaisseurs et d'orientations différentes, ou bien par une lame de verre sur laquelle j'ai collé au hasard des cristaux de toute taille et de toute épaisseur, et vous voyez apparaître sur le tableau une mosaïque aux couleurs les plus variées. Si au lieu de prendre des cristaux au hasard, je les groupe de manière à former un dessin régulier, je puis avoir une figure d'une grande beauté. Voici, par exemple, un papillon, un oiseau, dont je modifie les couleurs à volonté; mais cette expérience n'est que pour le plaisir des yeux, elle n'en apprend pas plus que la mosaïque produite par le hasard.

Eh bien! cette mosaïque nous apparaîtrait si nous mettions à la place des cristaux maclés une vitre couverte de givre, après que le dégel ayant imbibé les cristaux leur a rendu leur transparence. Elle nous apparaîtrait encore si nous observions la première couche de glace qui se forme à la surface de l'eau tranquille tout au commencement de la gelée. Nous en conclurions que cette première couche de glace, de même que le givre de nos fenêtres, est formée de cristaux irrégulièrement disposés. Mais nous ne verrions plus rien si la glace prise à la surface de l'eau avait quelques millimètres d'épaisseur, et il faudrait en conclure ou bien que cette lame de glace est amorphe comme le verre, ou qu'elle est un cristal perpendiculaire à l'axe comme le spath que nous venons d'essayer.

Voilà un premier pas de fait; l'appareil à *lumière convergente* va nous permettre d'en faire un second. J'y place une lame de verre, elle ne produit rien; j'y place ensuite notre spath perpendiculaire, et vous voyez apparaître sur le tableau de magnifiques anneaux colorés, traversés par une croix noire. Essayons encore cette arragonite, qui, vous le savez, est du carbonate de chaux comme le spath, mais qui au lieu de cristalliser en rhomboèdre, cristallise en prisme droit rectangulaire. En voici une lame taillée perpendiculairement aux plus grandes arêtes du prisme; vous la voyez former sur le tableau une nouvelle figure composée de lemniscates colorées, traversées par des hyperboles noires. Ces trois expériences sont caractéristiques; elles permettent de distinguer les corps monoréfringents, les cristaux à un axe et les cristaux à deux axes. Eh bien! mettons à la place du spath cette lame de glace prise à la surface de l'eau; vous voyez immédiatement apparaître les anneaux traversés par une croix noire, et vous en devez conclure que cette lame est, comme celle de spath, un cristal à un axe taillé perpendiculairement à l'axe.

Les groupements hexagonaux de la neige, les cristaux de la glacière de Fondeurle, ceux du pont de Cambridge et d'autres encore ont montré que la glace cristallisée appartient au système hexagonal ou rhomboédrique, ce qui est la même chose. Mais lorsque, au commencement de ce siècle (en 1813), l'illustre sir David Brewster observa pour la première fois les anneaux de la glace d'eau, il nous apprit, en outre, que tous les cristaux qui la composent ont leur axe vertical ou perpendiculaire à la surface de l'eau.

Il n'en est pas toujours ainsi, parce que, malgré la légèreté de la glace, on peut la forcer à se produire dans une direction qui ne soit pas horizontale. Par exemple, si nous remplissons d'eau une cuve rectangulaire de bois épais, après avoir remplacé par une vitre l'une des parois verticales, et si, par un jour froid d'hiver, nous plaçons cette cuve sur une fenêtre, la vitre tournée au dehors rayonnant vers l'espace, tandis que les autres parties, y compris la surface même de l'eau, sont garanties par une épaisse couche de bois, l'eau se gèlera contre la vitre, et la lame que nous en détacherons sera encore une lame perpendiculaire, puisqu'elle produira les mêmes anneaux que la glace ordinaire. Nous obtiendrons le même résultat si la vitre est inclinée au lieu d'être verticale, et nous en conclurons qu'en général l'axe optique de la glace est perpendiculaire à la surface refroidissante. Si la glace d'eau a son axe vertical, ce ne peut être que loin des bords, là où la surface qui rayonne est celle de l'eau elle-même.

Avant d'aller plus loin, je dois prévenir une objection, car j'aperçois dans cette assemblée plusieurs personnes très-versées dans l'optique qui sont prêtes à me dire : Mais êtes-vous bien sûr que la formation des anneaux soit le caractère spécifique des lames uniaxes perpendiculaires? ne peut-on pas les produire avec des lames non cristallisées? Oui, certainement; on les obtient aussi avec des verres trempés, avec des feuilles de gélatine, de dextrine, de gomme, etc., qui n'ont jamais passé pour être cristallisées. Tenez, voilà sur le tableau les anneaux produits par un verre trempé de forme circulaire. La glace serait-elle, par hasard, un corps analogue?

Les cristaux à un axe n'ont pas seulement pour caractère de donner des anneaux quand ils sont taillés en lames perpendiculaires, ils donnent des hyperboles quand la lame est parallèle à l'axe. Vous avez vu, tout à l'heure, les anneaux du spath perpendiculaire; voici, maintenant, la figure produite par le spath parallèle; vous voyez apparaître sur le tableau deux groupes d'hyperboles conjuguées équilatères. Eh bien! taillons dans un bloc de glace une lame perpendiculaire à la surface de l'eau, cette lame sera parallèle à l'axe et nous donnera les mêmes hyperboles, et nous en conclurons que la glace est bien réellement un cristal à un axe comme nous l'avons reconnu d'abord.

Digitized by Google

Les cristaux à un axe sont fort nombreux; ils sont tous biréfringents, c'est-à-dire qu'ils divisent en deux le rayon qui les traverse. Ainsi, voilà un rayon de lumière naturelle qui traverse le verre; vous ne voyez sur le tableau qu'une seule image; mais si je remplace la lame de verre par un rhomboèdre de spath, vous en verrez deux, et pour rendre l'expérience plus jolie, nous allons polariser la lumière, et alors nous pourrons parer les deux images de charmantes couleurs, toujours complémentaires l'une de l'autre. Ainsi le spath est biréfringent, et toutes les lames qui se colorent à la lumière polarisée sont dans le même cas; elles divisent la lumière en deux rayons. De ces deux rayons, l'un se comporte comme dans le verre, il est assujetti aux lois de la réfraction ordinaire, c'est le *rayon ordinaire;* l'autre n'obéit pas à ces lois, c'est le *rayon extraordinaire.* Ces rayons se séparent, parce qu'ils traversent le cristal avec des vitesses différentes. Dans le spath, par exemple, le rayon ordinaire se meut moins vite que l'extraordinaire; c'est l'inverse pour le quartz, l'apophyllite, etc. La différence des deux vitesses a un signe qui caractérise le cristal : ainsi le spath est *négatif*, l'apophyllite est *positive.* Tous les cristaux uniaxes peuvent être rangés dans l'une ou l'autre classe; mais comment les distinguer?

Rien n'est plus facile. Regardez, voici encore les anneaux du spath; je place derrière le polariseur une lame de mica très-mince, ce qu'on appelle un *mica d'un quart d'onde*, et je la tourne autour du rayon jusqu'à ce que les anneaux disloqués reforment la figure que voici. La croix noire a disparu, les franges sont encore circulaires, mais elles sont divisées en quatre segments qui alternent avec les segments voisins, ce sont les *anneaux d'Airy.* Voyez-vous de chaque côté du centre ces deux taches noires : la ligne des taches est ici parallèle à l'axe du mica marqué sur la lame, et les deux lignes en se superposant figurent le signe — de l'arithmétique; cela nous apprend que le spath est négatif. Voici, maintenant, les anneaux de l'apophyllite; la ligne des taches est perpendiculaire à l'axe du mica; les deux directions en se croisant figurent le signe +, et cela prouve que l'apophyllite est positive. J'essaye, maintenant, une lame de glace; elle me donne le même effet que l'apophyllite, et j'en conclus que la glace est *positive*, c'est-à-dire que le rayon ordinaire s'y meut plus vite que le rayon extraordinaire.

Cette distinction est importante au point de vue de la théorie. Dans les cristaux à un axe, l'onde extraordinaire est toujours un ellipsoïde de révolution autour de l'axe; mais cet ellipsoïde est aplati comme une lentille dans les cristaux négatifs, tandis qu'il est allongé comme un œuf dans les cristaux positifs. Voici ces deux formes représentées par des modèles de bois; c'est la seconde qui appartient à la glace.

Cette distinction est encore importante au point de vue de la physique moléculaire. Les cristaux négatifs se comportent comme s'ils étaient comprimés suivant l'axe, et les cristaux positifs comme s'ils étaient dilatés dans la même direction. Eh bien! quand une couche d'eau gèle, nous savons que ses molécules s'écartent, puisque sa densité diminue; mais le caractère positif de la glace nous apprend que ses molécules s'écartent plus dans le sens vertical que dans le sens horizontal.

Ce n'est pas tout que de savoir que, dans la glace, la vitesse ordinaire est plus grande que la vitesse extraordinaire; on peut encore se demander quelle est la valeur absolue de ces deux vitesses. Cette question se ramène à la recherche des indices de réfraction, qui sont précisément les inverses des vitesses, et les anneaux de la glace nous donnent encore le moyen de la résoudre. Leur diamètre dépend de la grandeur des indices, de l'épaisseur de la lame qui les produit et de la disposition de l'appareil qui les projette; la théorie nous fait connaître l'équation qui relie toutes ces variables entre elles. En appliquant cette équation à la glace, après avoir mesuré son épaisseur et le diamètre des anneaux qu'elle produit, sachant, d'ailleurs, que l'indice ordinaire, depuis longtemps mesuré, est 1,310, on trouve que l'indice extraordinaire est seulement 1,311. La différence des deux indices est donc très-petite et seulement de 0,001; elle est 172 fois plus petite que dans le spath, et quand on pense que les lames de spath sont les seules dans lesquelles on puisse observer directement la double réfraction, on voit combien il eût été difficile de constater cette propriété importante dans la glace, si l'on n'avait pas eu à sa disposition les ressources de la polarisation.

J'ai fini, messieurs, la tâche que je m'étais imposée. Vous savez, maintenant, que la glace ordinaire est cristallisée, que c'est un cristal à un axe, que son axe est perpendiculaire à la surface de l'eau sur laquelle la glace s'est formée ou plus généralement à la surface refroidissante, que ce cristal est positif, c'est-à-dire que le rayon ordinaire s'y meut plus vite que le rayon extraordinaire, et enfin que la différence de ces deux vitesses est très-petite ou que le corps est très-peu biréfringent.

Et cependant je suis loin d'avoir épuisé mon sujet, car le champ de la science est infini, et c'est le propre des recherches scientifiques de n'aboutir à une solution que pour se heurter à de nouveaux problèmes. Nous n'avons étudié que la glace d'eau; pourquoi ne vous ai-je rien dit de la glace glaciaire? pourquoi? parce que sa constitution m'est inconnue. Dans les innombrables travaux dont les glaciers ont été l'objet, je ne sache pas qu'on ait jamais eu l'idée d'étudier la matière des glaciers à l'aide de la lumière polarisée, et cependant quel vaste champ s'ouvre encore à nos recherches! Là-bas, sur la montagne, voilà une couche de neige qui se transforme en glace; cette glace est-elle réellement cristallisée, et dans ce cas, comment son axe est-il placé? Sur cette couche s'en forme une seconde, puis une troisième et toutes ensemble descendent lentement la pente de la vallée, tantôt horizontales, tantôt obliques, tantôt contournées de mille manières suivant les plis du terrain. Au commencement, la stratification est bien distincte; mais, à la fin, par suite des transformations subies, toute stratification disparaît à l'œil, et s'il est un moyen de la reconnaître encore, je ne vois que la lumière polarisée qui puisse nous apprendre quel est l'axe des différentes couches ainsi confondues. Arrivée à la base même du glacier, la glace a été si souvent plissée, contournée, brisée, regelée, qu'elle ne doit plus offrir qu'une cristallisation confuse malgré sa transparence parfaite. Voilà quelques-unes des questions qu'on peut se poser à Paris, mais qui pourrait prévoir celles qui surgiraient d'une étude attentive faite sur le glacier même? Cette étude est digne d'être recommandée à la grande association qui s'est donné pour mission d'encourager et d'exciter le mouvement scientifique dans notre pays. Il y a là un point important de la physique du globe qu'il faudrait éclaircir; mais quand même le problème serait purement spéculatif, il m'intéresse, je suis décidé à l'aborder, et j'espère bientôt vous en faire connaître la solution.

A. BERTIN,
Doyen de la Faculté des sciences de Strasbourg.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE NUMÉRO 25 19 MAI 1866

SOIRÉES SCIENTIFIQUES D'ANGOULÊME.

M. CH. CONTEJEAN.

Origine et avenir de la terre.

Mesdames et messieurs,

Il n'est pas d'histoire plus intéressante que celle de notre globe. Aucune peut-être ne nous ouvre des perspectives aussi grandioses, ne nous conduit à des résultats plus inattendus. Qu'avons-nous été? Que sommes-nous? Quel sort nous est réservé? Tels sont les sujets dont je me propose de vous entretenir dans cette conférence.

A côté des idées les plus erronées, les anciens avaient des notions fort justes sur les rapports de notre planète avec les astres voisins, et même sur sa constitution intime. Si, au temps d'Aristote, il était assez généralement admis que la terre, placée au centre du monde, était entourée d'un ciel mobile, transparent et solide, d'un firmament sur lequel les étoiles se trouvaient, en quelque sorte clouées; en revanche, Thalès de Milet, qui vivait dans le ve siècle avant notre ère, savait qu'elle est sphérique et que l'année se compose de trois cent soixante-cinq jours. Pythagore admettait aussi la sphéricité de la terre; il avait découvert son mouvement de rotation sur elle-même et son mouvement de translation autour du soleil. Ses disciples pensaient que les planètes et les comètes étaient soumises aux mêmes lois. Cependant, quelle que soit notre admiration pour les anciens, nous sommes obligés de convenir que ces vérités étaient plutôt devinées et entrevues que démontrées. Il appartenait à la science moderne de les rendre indiscutables; aussi voyons-nous les systèmes astronomiques les plus variés et les plus bizarres avoir cours jusqu'au moment où les découvertes des Copernic, des Kepler, des Galilée, des Newton, viennent asseoir la théorie de la terre sur une base désormais inébranlable.

L'antiquité avait aussi ses géologues. Je considérerai comme tel Héraclite, qui admettait que la terre est un astre refroidi. Anaxagore, maître de Socrate, pensait que la lune et les planètes sont habitées. Je ne puis résister au désir de vous dire un mot de sa singulière théorie de la transformation des êtres, qui est cependant étrangère à mon sujet. Il supposait que la mer avait autrefois recouvert tout le globe, et qu'en se retirant elle avait laissé à sec les poissons, qui s'étaient changés en oiseaux et en quadrupèdes. Ainsi des poissons auraient été nos premiers parents. Il est assez curieux de voir cette doctrine bizarre reprise à une époque récente. Dans le siècle dernier, un auteur français, Demaillet, plus connu sous le pseudonyme de Telliamed, la reproduisit sans presque rien y changer. Nous devons reconnaître en lui le précurseur des Lamarck, des Geoffroy Saint-Hilaire, des Darwin, qui professent d'une manière plus réservée et infiniment plus scientifique, il est vrai, la doctrine de la transformation des espèces.

Le moyen âge et la renaissance ne nous fournissent que des théories inadmissibles sur les commencements du globe. La plupart des auteurs qui ont traité cette question : Léonard de Vinci, Palissy, puis Scheuchzer, Werner, Dolomieu, et beaucoup d'autres, supposaient que la terre est sortie des eaux. Mais quelle est l'origine de ces eaux, et que sont-elles devenues? C'est ce qu'ils se gardent bien de dire. Évidemment, aucun atome de la matière terrestre, solide, liquide ou gazeuse ne peut se dissiper dans l'espace, car elle est invinciblement retenue par la force de la pesanteur. Le volume des eaux a donc toujours été le même. Or, on a calculé que le poids du globe était représenté par 1 000 000, celui des roches solides le serait par 999 958 et celui des mers par 42 seulement. Pour que la terre ait pu être en dissolution dans un liquide primitif, il faudrait donc que 1 mètre cube d'eau pût dissoudre 178 mètres cubes de pierre, ou ce qui revient au même, que 1 kilogramme d'eau pût dissoudre 3254 kilogrammes de matières minérales insolubles ou presque insolubles. De tels chiffres dispensent de tout commentaire.

Ce n'est qu'à partir du siècle dernier que nous rencontrons des travaux de quelque intérêt sur le sujet qui nous occupe. Dans son *Protogæa*, Leibnitz soutient l'opinion de Descartes, qui considérait le globe comme un soleil refroidi. Buffon fait sortir la terre de la masse du soleil par le choc d'une comète. D'après cet éminent écrivain, une portion de la matière solaire incandescente lancée dans l'espace a pris le double mouvement de rotation sur elle-même et de translation autour de l'astre central. Les effets réunis de l'attraction et de la force centrifuge ont donné à la nouvelle planète la forme sphéroïdale que nous lui connaissons. Puis les vapeurs se sont condensées et les eaux ont formé les premiers océans, en même temps que les parties superficielles de la matière fluide du globe se sont consolidées pour constituer les premières terres fermes. Le refroidissement continuant, cette couche solide a pu, au bout de quarante-trois mille ans, nourrir les animaux et les plantes. Cependant le feu central brûle encore, mais la déperdition de chaleur est continuelle; le globe finira par se solidifier jusqu'à son centre et la terre périra par le froid.

A côté de grandes vérités plutôt pressenties par son génie que scientifiquement démontrées, Buffon a introduit dans la théorie de la terre des erreurs aujourd'hui faciles à réfuter. On sait maintenant que les comètes, ces riens visibles comme

Digitized by Google

on les appelés, — mais ces riens très-considérables — renferment, sous des volumes prodigieux, des quantités de matière infiniment petites. D'après les calculs de M. Faye, la densité du noyau, c'est-à-dire de la partie la plus compacte d'une comète, est à peine neuf fois plus grande que celle de l'air qui reste dans le récipient d'une machine pneumatique après qu'on a fait le vide aussi complétement que possible, et la densité de la queue est dix billions de fois moindre. Il en résulte que même dans l'hypothèse d'une rencontre, c'est à peine si la matière cométaire pourrait entamer les couches les plus raréfiées de notre atmosphère. Ce serait le choc du ciron contre l'éléphant. A plus forte raison ne saurait-elle enlever la moindre parcelle de la masse solaire. A cet égard nous pouvons être parfaitement rassurés : les comètes sont les plus inoffensifs des astres.

Avant d'en finir avec les systèmes et les théories préconçues, j'ai grande envie de vous en exposer une dernière à laquelle, à défaut d'exactitude, on ne peut au moins refuser le mérite de l'originalité. Elle est du Génevois Deluc, savant d'ailleurs fort estimable, contemporain du célèbre géologue de Saussure. Deluc pense qu'à l'origine des choses le soleil était froid, et qu'une couche épaisse de glace entourait notre terre congelée jusque dans ses plus intimes profondeurs. A un instant donné, le soleil s'est enflammé, et sa chaleur a peu à peu dégelé notre planète. Les eaux, ramenées à l'état liquide, ont pénétré dans les fissures du sol, qu'elles ont profondément creusé et affouillé. Il en est résulté d'immenses cavernes, lesquelles, en s'effondrant, ont produit les inégalités de la surface terrestre, montagnes et vallées. Cette hypothèse, il est vrai, n'indique pas d'où étaient sortis le soleil et la terre.

Mais j'ai hâte d'arriver à des systèmes plus précis. Ce serait abuser de vos instants que de vous exposer le détail des travaux qui ont préparé les théories actuellement admises : il me suffira de vous citer les noms illustres des Hutton, W. Smith, W. Herschel, de Humboldt, Laplace, Fourier, Cuvier, Arago, Cordier, Élie de Beaumont, dont les savantes recherches ont jeté la plus vive lumière sur les commencements de notre système planétaire et du globe que nous habitons. Les idées ayant cours dans la science ne sont autre chose que les hypothèses combinées ou plutôt juxtaposées d'Herschel et de Laplace, hypothèses que les découvertes de chaque jour viennent de plus en plus confirmer. Veuillez bien cependant ne pas perdre de vue que dans quelques-uns de ses détails la théorie de la terre ne peut encore aspirer à des résultats d'une certitude absolue. Pour être née d'hier, la géologie n'est pas plus exempte de desiderata que les mathématiques elles-mêmes. Je n'ai d'ailleurs pas la prétention de vous apprendre cette science, je viens seulement causer avec vous de géologie et d'autres choses encore.

Deux sortes de matières occupent l'espace, l'une visible ou tangible, mais toujours pesante, c'est-à-dire soumise aux lois de l'attraction : c'est la matière pondérable ; l'autre d'une ténuité extrême, échappant à nos sens, mais dont l'existence est constatée par les phénomènes de la lumière et de la chaleur dont elle est en quelque sorte le véhicule : c'est l'éther. Nous n'avons à considérer que la première.

La matière pondérable remplissait autrefois tout l'univers. Mais sous l'influence de l'attraction, les molécules dont elle est composée se rapprochèrent et se condensèrent en diverses places. Il en résulta des déchirures, des morcellements de cette matière, dont les lambeaux, séparés par ces immenses espaces vides quelquefois désignés par les astronomes sous le nom de sacs à charbon, constituèrent autant de masses isolées parfaitement indépendantes les unes des autres. Telle est l'origine des vraies nébuleuses. Une fois à l'état de nébuleuse, la matière subit de nouvelles condensations, et finit par se grouper, dans chaque nébuleuse, autour d'un ou de plusieurs centres qui devinrent peu à peu des étoiles nébuleuses, puis des étoiles ou des soleils, ce qui est absolument la même chose. Mais la condensation ne peut s'opérer sans mouvement. On a démontré que ce mouvement finit par devenir circulaire ; et comme la diminution progressive du volume de chaque centre de condensation a pour conséquence d'augmenter la vitesse en produisant de la chaleur et de la lumière, il arrive que d'immenses étendues de matière diffuse et incohérente sont amenées peu à peu à l'état de soleil incandescent doué d'un mouvement de rotation.

Mais quelles seront les conséquences de l'accélération du mouvement? Le calcul et l'expérience indiquent qu'une matière fluide (liquide ou gazeuse) tournant autour d'un axe prend la forme d'une sphère qui s'aplatit d'autant plus aux pôles que la rotation est plus rapide. Animée d'une vitesse suffisante, cette matière devient peu à peu une sorte de disque. Il arrive un moment où les molécules les plus éloignées du centre ne sont plus retenues par une attraction capable de contrebalancer la force centrifuge ; alors elles se détachent de la masse principale et constituent un anneau indépendant, qui conserve son mouvement originel de rotation. La masse centrale continuant à se resserrer, la rapidité de son mouvement s'accroît encore, et bientôt un second anneau est abandonné. Le même phénomène se répète toutes les fois que les conditions qui ont présidé à la formation du premier anneau viennent à se reproduire.

Voyons maintenant ce qu'il adviendra d'un de ses anneaux. J'ai dit qu'il conservait son mouvement originel de rotation. Mais il est en même temps soumis aux lois de l'attraction, qui tend à le rompre et à en agglomérer en une seule masse les diverses parties. C'est ce qui a lieu presque toujours ; de sorte que les anneaux finissent par se transformer en sphères animées d'un mouvement de rotation autour de leur axe et d'un mouvement de translation autour de la masse matérielle qui leur a donné naissance. En outre, ces masses secondaires étant soumises aux mêmes lois que la principale, le mouvement qu'elles ont conservé s'accélère en raison des progrès de leur condensation, et il peut arriver un moment où elles abandonnent à leur périphérie des anneaux semblables à celui dont elles tirent leur origine.

Cette brillante hypothèse nous fait en quelque sorte assister à la formation des mondes. Le soleil qui nous envoie sa lumière et sa chaleur a d'abord été nébuleuse, puis étoile nébuleuse. Divers motifs nous donnent même à penser que sa condensation n'est pas encore complétement achevée, et qu'il retient autour de lui une matière fort ténue, reste de la nébulosité primitive dont est sortie tout notre système. Les anneaux successivement abandonnés dans l'espace sont devenus autant de planètes, dont les plus éloignées : Neptune, Uranus, Saturne, Jupiter, ont été les premiers formées. Enfin, les satellites qui accompagnent plusieurs d'entre elles proviennent des anneaux détachés de ces astres. Et comme s'il ne devait rester aucun doute sur la légitimité du système de Laplace, un de ces corps subsiste encore avec sa forme primitive : j'ai désigné l'anneau de Saturne.

Digitized by Google

L'étude du ciel confirme pleinement la théorie dont je viens de vous donner un aperçu sommaire.

Quoique le nombre incalculable des étoiles qui remplissent l'espace nous indique que la matière pondérable se trouve presque partout à un état de condensation fort avancée, il existe cependant des astres, qu'on pourrait qualifier de retardataires, où elle se présente à tous les états, et qui nous offrent encore le spectacle des premiers mouvements de condensation et de rotation. Les vraies nébuleuses, dont on a catalogué plusieurs milliers, ne sont autre chose que les derniers lambeaux de la matière cosmique diffuse; la plupart nous laissent distinguer plusieurs centres de condensation qui deviendront plus tard autant de soleils, et leur changement de forme continuel trahit des mouvements intestins de concentration et quelquefois de rotation. Dans les nébuleuses planétaires, la matière cosmique est déjà rassemblée en sphère; les étoiles nébuleuses sont composées d'un noyau plus ou moins brillant entouré d'une nébulosité d'une étendue variable, et nous font en quelque sorte assister à la transformation de la matière cosmique en soleils. C'est la nature prise sur le fait, dirons-nous avec Herschel, à qui l'on doit la plupart de ces découvertes. Bien plus : les astronomes ont signalé la disparition de plusieurs étoiles. Tantôt leur éclat s'est graduellement affaibli, tantôt ces astres se sont brusquement effacés, tantôt on a cessé de les apercevoir après des périodes de diminution et de recrudescence dans leur intensité lumineuse. Évidemment il y a là autant de soleils éteints. Un moment doit arriver en effet où, par suite de la déperdition continuelle de chaleur, chacune des étoiles qui brillent dans le ciel se refroidira, se solidifiera à sa surface, et passera de l'état de soleil à celui d'astre obscur ou de planète. Mais le temps me manque pour citer des exemples et pour entrer dans tous les détails que comporterait mon sujet.

Cette conception si simple et si grandiose de l'origine du système solaire, il nous est possible d'en vérifier la justesse par l'expérience. M. Plateau nous a enseigné à fabriquer des mondes dans notre cabinet. Voici comment :

Faisons un mélange d'eau et d'alcool dans des proportions telles qu'un volume quelconque de ce liquide ait exactement le même poids qu'un pareil volume d'huile. Introduisons ensuite avec précaution une certaine quantité d'huile dans notre liquide. Cette huile sera soustraite à l'action de la pesanteur, puisqu'elle a exactement la densité du milieu dans lequel elle est plongée; elle restera donc en équilibre sans monter ni descendre, à la place même où elle aura été déposée, et prendra d'elle-même la forme d'une sphère. Traversons maintenant cette sphère par une tige métallique à laquelle nous imprimerons autour de son axe un mouvement de rotation de plus en plus rapide. Nous verrons aussitôt la sphère se déprimer à ses pôles, se renfler à son équateur, passer à la forme de disque et abandonner à sa périphérie un premier anneau, puis un second, puis un troisième si l'on augmente progressivement la vitesse. La plupart de ces anneaux se condenseront en petites sphères animées d'un double mouvement de rotation sur elles-mêmes et de translation autour de la masse qui leur a donné naissance. Or, ce que nous effectuons dans notre laboratoire est réalisé en grand dans l'univers, à cette différence près que la force motrice vient de la matière elle-même et résulte de la condensation.

Si l'hypothèse d'Herschel et de Laplace est vraie, la matière doit être la même non-seulement dans le système solaire, mais encore dans tout l'espace. C'est ce que démontrent les considérations suivantes:

Tous les astres condensés dont il nous est possible de reconnaître la forme sont sphériques; tous les globes comparables à la terre, c'est-à-dire les planètes, sont en outre renflés à l'équateur, aplatis aux pôles, plus ou moins inclinés sur leur axe et animés du double mouvement de rotation et de translation, indices manifestes d'une communauté d'origine.

Les corps célestes les plus rapprochés de nous, les seuls dont le télescope nous permette d'étudier la surface, se trouvent dans des conditions physiques exactement semblables à celles de notre globe. Vénus est couverte de montagnes très-élevées. Mars nous montre des continents et des mers. Nous distinguons en outre aux deux pôles de cette planète de vastes espaces blancs qui augmentent ou diminuent alternativement d'étendue suivant que le pôle considéré est dans sa saison d'hiver ou dans sa saison d'été. Il en est de même sur la terre où les calottes de neige et de glace qui recouvrent les pôles s'étendent ou se rétrécissent suivant l'époque de l'année. Qui de vous n'a entendu parler des montagnes de la lune? Nous possédons maintenant des instruments d'optique qui nous laissent distinguer les moindres détails de la structure de notre satellite, et l'on peut dire sans aucune exagération que la face de la lune que nous apercevons nous est beaucoup mieux connue que notre terre. Comme celle-ci, la lune a ses montagnes, ses plaines, ses vallées. Il est à remarquer que la plupart des montagnes lunaires sont des volcans à cratères dont la forme et la manière d'être sont exactement celles des volcans terrestres. On a même pu mesurer la hauteur de ces montagnes avec la plus grande précision. La constitution physique et géologique de la lune est donc exactement celle de la terre.

Les aérolithes ou pierres tombées du ciel doivent être considérées comme de petites masses de matière, sortes de planètes microscopiques qui se meuvent en grand nombre dans l'espace et se précipitent sur la terre lorsque d'aventure elles arrivent dans sa sphère d'attraction. D'ailleurs leur origine exacte n'a pas à nous préoccuper. Qu'elles proviennent de lambeaux de la nébuleuse primitive qui se seraient isolément condensés, ou qu'elles aient été détachées du soleil lui-même au moment où se formaient les anneaux, il importe peu : ce qui n'est plus mis en doute, c'est qu'à une certaine époque elles ont fait partie de la même masse de matière que le soleil et les planètes; c'est, en tout cas, qu'elles sont complétement étrangères à notre globe. Eh bien! sur les vingt-deux corps simples découverts jusqu'à présent dans les aérolithes, l'analyse chimique n'a révélé aucune substance qui ne fût connue sur la terre. Si je ne me trompe, c'est là une preuve palpable, évidente, un argument sans réplique en faveur de la doctrine dont je vous ai donné l'exposition.

Enfin l'analyse spectrale de la lumière est venue, dans ces derniers temps, confirmer d'une manière éclatante l'hypothèse de l'unité de matière. Permettez-moi de vous rappeler en quelques mots les principes de physique sur lesquels elle repose.

Si l'on projette sur un prisme de cristal un faisceau de la lumière du soleil, ce faisceau est dilaté de l'autre côté du prisme et présente une image élargie dans laquelle on distingue nettement les sept couleurs primitives dont se compose la lumière blanche. Cette image, qu'on peut recevoir sur un écran, n'est autre chose que le spectre solaire. Si nous

Digitized by Google

employons la lumière d'une substance incandescente donnant un spectre continu, et que dans le foyer nous introduisions divers corps chimiquement simples, chacun d'eux produira dans le spectre une ou plusieurs raies colorées, qui sont invariablement les mêmes pour la même matière. Ce mode d'investigation, dont on doit en partie la découverte à MM. Kirchhoff et Bunzen, a reçu le nom d'analyse spectrale. Telle en est la délicatesse et la précision, qu'il permet de doser des millionièmes de milligrammes de certaines substances, et qu'il a conduit à la découverte de plusieurs corps simples, autrement demeurés inaperçus. Si, maintenant, au lieu de porter dans le foyer lumineux la matière à étudier, nous l'introduisons dans la flamme d'une lampe à alcool placée sur le trajet même du faisceau projeté sur le prisme, il arrive que toutes les raies colorées qu'aurait produites dans le spectre la substance essayée paraissent noires. Sans entrer dans d'autres détails à ce sujet, je me bornerai à vous dire qu'une matière à l'état de vapeur obscure placée sur le parcours d'un faisceau de lumière blanche a la propriété d'éteindre la couleur qu'elle émettrait à l'état de vapeur lumineuse, d'où la substitution de raies noires aux raies colorées. Or, le spectre solaire est barré d'une multitude de raies noires. Cela dénote qu'un certain nombre de corps simples existent à l'état de vapeur obscure dans l'atmosphère solaire, et que celle-ci entoure un noyau incandescent. En même temps qu'elle fournit de précieux renseignements sur la constitution physique de l'astre principal de notre système, l'analyse spectrale nous fait donc connaître, jusqu'à un certain point, la nature chimique des substances dont il est formé. Il suffit, en effet, pour les déterminer, de constater la position qu'occupent, dans un spectre, les raies colorées de chaque corps simple, puis de les rapporter aux raies obscures qui les remplacent dans le spectre solaire. Par exemple, si toutes les raies du fer s'y présentent en noir, c'est évidemment qu'il y a du fer en vapeur dans l'atmosphère du soleil. De cette manière on est arrivé à savoir que cette atmosphère renferme de l'hydrogène, du sodium, du magnésium, du fer, du chrome, etc., et qu'elle ne contient aucun corps simple étranger à notre planète.

Mais l'audace des investigations est allée plus loin, et l'on a soumis à l'analyse spectrale la lumière des étoiles et même des nébuleuses. Eh bien! dans aucun de ces astres (sauf peut-être une nébuleuse), on n'a trouvé de substance que nous ne connussions. Dans plusieurs étoiles l'existence de l'hydrogène, du sodium, du fer et d'autres métaux a été constatée. Le fer paraît l'élément le plus répandu dans l'univers. Les nébuleuses planétaires étudiées naguère par M. Huggins ont donné les raies de l'hydrogène et de l'azote. Vraiment l'esprit demeure confondu en présence de pareilles découvertes, glorieuses et pacifiques conquêtes de notre époque, et l'on ne sait si l'on doit plus admirer la grandeur des résultats que l'étendue infinie des ressources de l'esprit humain dirigé par une libre et saine appréciation des choses.

Examinons maintenant les états antérieurs de notre globe, et essayons d'indiquer les changements qu'il est encore destiné à subir.

Les géologues admettent que la terre a été nébuleuse, puis soleil avant d'arriver à sa constitution actuelle. J'ajoute qu'elle passera à l'état de lune et qu'elle perdra ses mers et son atmosphère. Voici comment nous pouvons nous représenter ces diverses manières d'être, si étranges au premier abord.

La terre était nébuleuse ou plus exactement portion de nébuleuse lorsqu'elle faisait partie de l'ensemble matériel encore indivis qui a donné naissance à tous les astres de notre système. C'était une substance extraordinairement raréfiée, dont les plus faibles masses occupaient des espaces immenses, et que je ne puis mieux définir qu'en la comparant à celle d'une comète. Alors les atomes matériels se trouvaient à la plus grande distance possible les uns des autres et aucune action chimique ne pouvait se produire entre eux.

Une très-grande condensation s'était déjà opérée dans la nébuleuse primitive, au moment où l'anneau terrestre fut séparé de la masse solaire ; néamoins la cohésion était encore bien faible, puisque l'anneau qui devint notre satellite put se produire à son tour. Un peu plus tard la condensation dut avoir son terme ; de matière diffuse la terre était devenue matière compacte, les actions chimiques furent possibles, et dès lors notre globe, arrivé à l'état de soleil, commença à perdre sa chaleur propre, les effets du rayonnement n'étant plus contrebalancés par ceux de la condensation. De cette époque date le refroidissement.

A l'état de soleil la terre était une sphère incandescente répandant autour d'elle la lumière et la chaleur. Nous ne pouvons nous faire une idée exacte de sa température, qui sans doute était excessive, et ne permettait à aucune matière d'exister sous la forme solide. Alors tous les corps volatils que les actions chimiques n'avaient pas fixés ne pouvaient se trouver qu'en vapeur. Toutes les eaux et un grand nombre de substances liquides et solides, notamment la plupart des métaux, faisaient partie de l'atmosphère, qui était infiniment plus dense et plus étendue que de nos jours. Combien de siècles et de milliers de siècles put subsister un pareil état de choses : c'est ce qu'on ne saurait dire. Cependant le refroidissement faisait des progrès rapides, car la terre, devenue compacte, perdait plus de chaleur par le rayonnement qu'elle n'en pouvait gagner par les actions chimiques et par la condensation, désormais d'un effet presque nul. Il dut arriver un moment où la température fut assez basse pour que le passage à l'état liquide des substances les moins volatiles pût s'effectuer. Alors des pluies de mercure et de métaux fondus se précipitèrent sur le globe, qui avait perdu peu à peu son éclat lumineux et son excès de chaleur. Une croûte solide et obscure s'était formée à l'extérieur. De soleil, la terre était devenue planète.

Mais la lutte entre les éléments n'avait pas cessé. A son tour l'eau put se condenser à l'état liquide. Sans cesse repoussée et vaporisée par le contact de la surface terrestre encore très-chaude, elle se dissipait dans les airs pour se refroidir de nouveau et retomber en pluies intenses. Les progrès du refroidissement aidant, l'eau finit par l'emporter sur le feu, et les premiers océans furent constitués. L'établissement de cet état de choses marque la fin de la période cosmique de l'histoire de la terre. Une ère nouvelle s'ouvre devant nous, les temps géologiques commencent.

Il s'en faut de beaucoup cependant que la planète d'alors ait ressemblé à celle d'aujourd'hui. La couche extérieure consolidée n'offrait qu'une faible épaisseur. A chaque instant elle était rompue et morcelée par la matière fluide sous-jacente, qui, se répandant à sa surface, contribuait à en consolider les fragments. Les montagnes ne pouvaient exister. Un océan sans limites entourait le globe. L'atmosphère épaisse, nébuleuse, chargée de vapeur d'eau, sans cesse obscurcie par d'épais nuages d'où s'échappaient des torrents de pluie, laissait à

Digitized by Google

peine arriver à la surface des mers quelque pâle rayon de soleil. La température était toujours fort élevée; la vie organique n'avait point encore fait son apparition.

De ce qui précède il résulte que la terre était formée de quatre parties concentriques se recouvrant exactement les unes les autres. C'était, à commencer par la plus extérieure : 1° une atmosphère épaisse et nébuleuse; 2° un océan peu profond, mais sans rivages; 3° une écorce solide assez mince; 4° un noyau central à l'état de fusion ignée ou pyrosphère. Telle est encore la constitution actuelle de notre planète; seulement les rapports et l'importance relative des quatre parties que je viens d'indiquer ont subi des modifications qui doivent vous être expliquées.

En augmentant d'épaisseur par l'effet du refroidissement, l'écorce solide offrit une résistance de plus en plus grande aux actions dynamiques qui tendaient à la soulever, actions qui peuvent toutes se résumer dans le retrait ou la diminution de volume à laquelle est soumis notre globe depuis son origine première, et ensuite dans la réaction de la pyrosphère sur la partie solide. Les mouvements et les ruptures de la couche minérale se manifestèrent à de plus longs intervalles, mais augmentèrent d'importance, l'effort devant croître en raison de la résistance. Alors se formèrent des reliefs et des dépressions. Quelques îles surgirent çà et là dans l'immensité des eaux, et les premières terres fermes apparurent. Mais de longs siècles s'écoulèrent avant que les continents pussent se grouper et que les vastes bassins qui en sont en quelque sorte la contre-partie renfermassent des océans distincts. Néanmoins, depuis les temps géologiques les plus reculés, les terres fermes ont toujours gagné en étendue, comme les mers en profondeur, et les mouvements d'ondulation de l'écorce solide se continuent de nos jours. Toute la partie septentrionale de la péninsule scandinave s'exhausse à raison de 1 mètre à 1 mètre et demi par siècle, tandis que la pointe méridionale de la Scanie, le Danemarck, le nord de la Prusse et les régions voisinent s'affaissent d'un mouvement lent et séculaire. Le littoral du Pérou et du Chili s'est élevé de plusieurs mètres depuis les temps historiques; au contraire, la côte occidentale de Groenland s'abaisse continuellement.

Mais ce n'est pas seulement par le refroidissement et la consolidation de nouvelles couches intérieures que l'enveloppe solide du globe a gagné en épaisseur. Des terrains d'une grande puissance et d'une importance capitale pour le géologue, se sont aussi formés au sein des mers. L'action continuelle des vagues, des marées, des courants, arrache aux bas fonds et surtout aux rivages une grande quantité de matières minérales meubles ou détritiques. Les eaux agitées attaquent et détruisent les parois avec lesquelles elles se trouvent en contact, en dissocient et en entraînent les éléments pour les transporter au loin et les laisser déposer en couches horizontales plus ou moins régulières. Vous savez tous que nos falaises sont à chaque instant démolies, et qu'en beaucoup de lieux la mer empiète sur les terres. En Normandie, le retrait des falaises est estimé en moyenne à 6 décimètres par an. Combien ces actions ont dû être plus énergiques aux époques reculées dont j'essaye de vous retracer l'histoire, alors que l'élévation de température, l'augmentation du poids de l'atmosphère, l'impureté même des eaux, chargées de principes solubles, devaient favoriser une foule d'actions chimiques et mécaniques qu'on ne verra plus se reproduire! Ajoutons encore les émissions abondantes et presque continuelles de silice, de calcaire, de magnésie, d'oxyde de fer par des sources minérales dont celles qui subsistent de nos jours ne peuvent nous donner qu'une bien faible idée. C'est donc par les eaux qu'a été constituée une notable portion de l'écorce solide du globe. On donne le nom de terrains de sédiment ou terrains stratifiés à toutes les couches qui se sont formées au sein des mers, pour indiquer qu'elles sont le produit de dépôts ou sédimentation et qu'elles consistent en une série de lits parallèles entre eux ou stratifiés. Ces terrains sont les seuls qui renferment des fossiles, ou vestiges des animaux et des plantes qui vivaient à l'époque de leur formation; précieuses médailles au moyen desquelles on a pu établir avec la plus grande précision la chronologie géologique.

L'écorce terrestre a donc gagné en épaisseur de deux manières diamétralement opposées : elle s'est accrue de haut en bas aux dépens de la masse fluide centrale par le refroidissement et la consolidation de nouvelles couches; de bas en haut par l'accumulation des sédiments dans les bassins des mers. Aussi les géologues la décomposent-ils en deux parties, dont l'une, d'origine ignée, est constituée par les terrains ignés ou cristallins, et l'autre par les terrains sédimentaires. Moins étendue en surface, la couche sédimentaire ne forme pas un revêtement continu sur la couche cristalline; elle n'est même complète en aucun lieu du monde, ce qui indique des mouvements d'ondulation continuels dans l'écorce solide et des déplacements nombreux des continents et des mers. A quelques pas de nous existe une des terres les plus anciennes du globe, le plateau central de l'Auvergne et du Limousin, où l'on ne voit aucun sédiment, et qui était une île aux époques géologiques les plus reculées. Pour être complet, je dois encore vous indiquer les terrains éruptifs, qui sont venus, à diverses reprises, percer la couche solidifiée et se déverser à sa surface : c'étaient d'abord des roches granitiques et porphyriques, auxquelles ont succédé les trachytes, les basaltes et les laves des volcans actuels.

Quelques mots maintenant sur la formation des montagnes.

Les mouvements d'intumescence et d'affaissement auxquels on doit l'émersion des continents et la circonscription du bassin des mers ne sont pas les seuls qui aient affecté l'écorce terrestre. A diverses reprises ont surgi les chaînes de montagnes. Le mouvement qui les a soulevées n'est certainement pas de même nature que ceux dont je viens de vous entretenir, car au lieu d'agir sur des surfaces, il s'est manifesté suivant des lignes plus ou moins étendues, et d'ailleurs l'énergie en est incomparablement plus grande. Il y a loin, en effet, des actions lentes et séculaires exhaussant ou déprimant certains rivages de quelques centimètres par année aux étonnantes catastrophes qui ont élevé assez rapidement à plusieurs milliers de mètres les Alpes ou les Cordillières. Et cependant, ainsi qu'il a été dit, une cause dominante préside à tous ces phénomènes : c'est le retrait de l'écorce solide. Grâce aux savants travaux de M. Élie de Beaumont, nous connaissons l'âge relatif des principales chaînes de montagnes, c'est-à-dire que nous savons que tel système a surgi avant ou après tel autre, est contemporain de tel terrain. L'âge absolu, ou en d'autres termes le nombre de siècles et de milliers de siècles qui nous séparent des événements géologiques passés ne pourra sans doute jamais être établi que d'une manière conjecturale; il est d'ailleurs d'un intérêt médiocre au point de vue de la science. Voici comment on détermine l'âge relatif d'une chaîne de montagnes. Évidemment les couches des

Digitized by Google

terrains de sédiment dérangées de leur position horizontale et inclinées ou bouleversées par l'exhaussement de la montagne étaient déjà formées à l'époque où celle-ci apparut; au contraire, les couches sédimentaires qui sont venues à son pied recouvrir horizontalement les premières, avec lesquelles elles sont en stratification dite discordante, ont été déposées lorsque la montagne existait déjà. L'âge de celle-ci vient donc se placer entre l'âge des couches relevées ou brisées et celui des couches horizontales; il se détermine aisément au moyen des fossiles qu'elles renferment. Je dois ajouter cependant qu'il se présente souvent une foule de complications que vous me permettrez de passer sous silence, et qui mettent singulièrement à l'épreuve la patience et la sagacité du géologue. Ce n'est donc pas toujours chose facile que d'établir l'époque d'un soulèvement. Quoi qu'il en soit, nous savons maintenant que les montagnes les moins élevées ont été formées les premières; que les collines du bocage de la Vendée, du Morbihan, du Hundsruck sont antérieures aux Vosges; que celles-ci ont précédé les Pyrénées, plus anciennes à leur tour que les Alpes et l'Himalaya. De pareils résultats n'ont rien qui doive nous surprendre. Puisque la partie solide du globe a continuellement gagné en épaisseur depuis l'origine des choses, l'effort nécessaire pour l'exhausser et pour la rompre a dû être de plus en considérable. C'est ainsi que la théorie et l'observation se prêtent un mutuel secours. On peut donc presque affirmer que s'il apparaissait de nouvelles chaînes dans les époques futures, elles dépasseraient en hauteur nos montagnes actuelles.

Souvent l'écorce solide a été rompue et disloquée dans toute son épaisseur sans que pour cela il en soit résulté des reliefs de quelque importance. Le nom de faille a été donné à ces grandes ruptures, qu'on peut suivre dans bien des lieux sur une longueur de plusieurs centaines de kilomètres. Quelquefois les volcans sont alignés le long de ces fissures, qui offrent un facile débouché aux matières fondues de l'intérieur : tel est le cas des Puys de l'Auvergne. Grandes ou petites, les fissures et les failles sont extrêmement multipliées. Elles s'entrecroisent dans toutes les directions, de sorte que la couche refroidie du globe, loin de former un tout homogène, se compose, en réalité, d'une multitude de prismes de diverses formes accolés et juxtaposés, nageant en quelque sorte comme des radeaux contigus sur le noyau liquide. Telle est, bien en abrégé, la structure de l'écorce solide de notre planète.

Son épaisseur ne peut être déterminée qu'approximativement. On s'accorde généralement à lui donner 25 kilomètres. Elle est un peu plus grande aux pôles, où la consolidation a commencé. Il est évident, en effet, que l'inclinaison de l'axe terrestre ayant toujours été la même, quoi qu'on ait pu imaginer à cet égard, les pôles ont reçu en tout temps moins de chaleur que les régions équatoriales. Et comme la quantité du refroidissement peut s'exprimer par la différence entre la déperdition de la chaleur propre de notre planète par le rayonnement et l'absorption de la chaleur du soleil, il est manifeste que les lieux où celle-ci a le moins d'influence ont dû se refroidir les premiers. Divers calculs, dans le détail desquels vous me saurez gré de ne point entrer, nous conduisent à penser que l'excès d'épaisseur aux pôles est au plus de 1450 mètres. Rapportée à la longueur du rayon terrestre, qui est de 6367 kilomètres, l'épaisseur de l'écorce solide est comparable à celle de la coquille d'un œuf par rapport au contenu, et le relief des plus hautes montagnes serait représenté par les rugosités de l'œuf.

Je dois également être sobre de conjectures au sujet de la masse centrale incandescente et de sa température, car il ne faut aborder qu'avec la plus grande réserve le domaine de l'inconnu. Je me bornerai donc aux faits qu'on peut observer et contrôler.

Quand on s'enfonce dans le sol, on arrive toujours à une couche où la chaleur solaire cesse de parvenir, et où la température, qui est constamment la même, représente à peu de chose près la moyenne du lieu, surtout dans les contrées chaudes. La profondeur de cette couche à température invariable dépend de la latitude. Elle est de moins de 1 mètre sous l'équateur, et de 28 mètres environ à Paris. Si l'on pénètre au delà, la température augmente sans cesse. Depuis longtemps ce fait était connu de tous les mineurs. Dès le milieu du siècle dernier on chercha à se rendre compte de cette augmentation, et le thermomètre fut porté à toutes les profondeurs accessibles sur divers points du globe, mais principalement en Europe. Dans son célèbre mémoire présenté en 1827 à l'Académie des sciences, Cordier résume les travaux de ses prédécesseurs et les siens propres, et à la suite d'une discussion qui est un modèle de logique et de clarté, il conclut à l'augmentation de 1 degré centigrade pour 27 mètres de profondeur. On admet généralement aujourd'hui, en nombres ronds, un degré pour 30 mètres. Ce chiffre ne représente d'ailleurs qu'une moyenne, car en beaucoup de lieux l'augmentation est plus rapide ou plus lente. Puisque la chaleur s'accroît avec la profondeur, il y a donc un foyer incandescent au centre de la terre, et à une certaine distance toutes les roches, toutes les substances solides doivent passer à l'état de fusion ignée. Cette vérité est confirmée par beaucoup de phénomènes naturels, tels que les éruptions volcaniques, les sources thermales, etc.; elle ajoute un nouveau degré de certitude à l'hypothèse d'Herschel et de Laplace. La chaleur centrale nous révèle l'existence des états antérieurs de notre planète.

Quant à l'intensité de cette chaleur, on doit se borner à des conjectures. En prenant pour base l'augmentation de 1 degré pour 30 mètres, et en supposant l'accroissement constant, le calcul indique une température de plus de 200 000 degrés centigrades au centre de la terre. Évidemment, ce chiffre est beaucoup trop fort. Aussi le célèbre mathématicien Poisson, effrayé d'un pareil résultat, se refusait-il à admettre l'existence du feu central. Pour expliquer les hautes températures des profondeurs, il aimait mieux imaginer que la terre conservait encore dans son intérieur quelque peu de la chaleur d'espaces célestes beaucoup moins froids qu'elle aurait parcourus jadis. On ne peut, en effet, se faire une idée d'une température dépassant de plus de 198 000 degrés le point de fusion du platine. Très-vraisemblablement un état d'équilibre s'établit à une certaine profondeur, à partir de laquelle la chaleur cesse d'augmenter. Beudant se rapproche sans doute beaucoup plus de la vérité quand il suppose que la chaleur centrale ne dépasse pas 3 à 4000 degrés.

Je terminerai cet entretien par un coup d'œil rapide sur l'avenir de la terre.

J'ai annoncé qu'elle est destinée à passer à l'état de lune et à perdre son atmosphère et ses mers par suite du refroidissement. Elle émet, en effet, dans les espaces célestes plus de chaleur qu'elle n'en reçoit du soleil. Il arrivera donc un mo-

Digitized by Google

ment, fort éloigné sans doute, ou elle sera consolidée jusqu'à son centre, et où sa température deviendra aussi basse que celle de l'espace dans lequel elle se meut. C'est ce qu'avait pressenti le génie de Buffon. D'ailleurs les effets du refroidissement sont excessivement lents, puisque d'après les calculs de Fourier, l'influence de la chaleur centrale à la surface terrestre n'est que d'un trentième de degré, et qu'il faudrait trente mille ans pour qu'elle tombât à un soixantième de degré. D'un autre côté, les calculs et les expériences de M. Bischof sur le basalte fondu indiquant que la terre emploierait neuf millions d'années à perdre 15 degrés de sa température actuelle. Quoi qu'il en soit de ces données, le refroidissement ne peut être mis en doute. Quelles en seront les conséquences? C'est ce que l'étude de la lune va nous apprendre.

La surface de notre satellite n'est jamais voilée par des nuages, et le mode d'occultation des étoiles par son disque nous démontre qu'il est privé d'atmosphère. Telle est, en effet, la délicatesse et la précision des recherches astronomiques qu'une atmosphère lunaire, fût-elle aussi raréfiée que l'air du récipient d'une machine pneumatique dans lequel on a fait le vide, serait encore décélée par nos instruments d'optique. L'absence d'atmosphère amène comme conséquence celle de mers et d'amas d'eaux superficiels, dont les vapeurs constitueraient une couche gazeuse perceptible autour de la lune. Mais un pareil état de choses a-t-il toujours subsisté? La science moderne n'hésite pas à répondre par la négative. Autrefois la lune avait une atmosphère et très-probablement des mers. Si l'existence des terrains de sédiment, que plusieurs astronomes croient avoir observés à sa surface, est encore contestable, au moins ne peut-on se refuser à admettre que l'eau en vapeur ou des substances à l'état gazeux ne se soient montrées à certains moments. La constitution presque entièrement volcanique de notre satellite, la forme de ses cratères absolument identiques avec ceux de nos volcans terrestres, la prodigieuse dimension de quelques-uns d'entre eux, nous indiquent, en effet, que sa surface a été fréquemment bouleversée par des éruptions. D'énormes quantités de gaz ou de vapeur d'eau ont, par conséquent, projeté les matières scoriacées dont l'accumulation a élevé les cônes et les cratères. Ces idées, pour la première fois émises par mon savant collègue à la Faculté des sciences de Clermont, M. Lecoq, ont été reprises et développées par M. Sæmann. Ces géologues pensent qu'en admettant pour tous les astres du système solaire une origine identique, chacun d'eux, une fois détaché de la masse commune, a commencé à se refroidir avec une rapidité d'autant plus grande que son volume était plus faible, son pouvoir émissif et sa distance au soleil plus considérables. La lune étant quarante-neuf fois plus petite que la terre s'est refroidie quarante-neuf fois plus vite, et chacun des états par lesquels elle est passée, chacune de ses périodes géologiques a duré quarante-neuf fois moins que les périodes correspondantes de la terre. Sa consolidation est donc infiniment plus avancée que celle de notre globe, et peut-être a-t-elle déjà gagné le centre. Mais toutes les fois que des roches fondues se solidifient en présence de l'eau, elles absorbent une certaine quantité de liquide, qui se combine chimiquement avec quelques-uns de leurs minéraux constitutifs pour former des hydrates; elles enretiennent par imbibition et porosité un volume encore plus considérable. C'est ce que nous enseigne l'analyse de toutes les roches terrestres. Sans entrer dans des énumérations de chiffres qui ne vous offriraient aucun intérêt, je me bornerai à vous annoncer que, dans l'hypothèse où nous nous sommes placés, la lune aurait depuis longtemps absorbé ses mers si nous en supposons le volume comparable à celui de nos mers terrestres. Quant à l'atmosphère de notre satellite, en la supposant également comparable à celle de la terre, elle remplit les innombrables fissures de retraite qui ont profondément disloqué le globe lunaire, et dans lesquelles elle est retenue par la force de la pesanteur. Vous savez que les corps diminuent de volume en se refroidissant, surtout quand ils passent de l'état solide à l'état liquide, témoin les rugosités et les crevasses de la surface des métaux qu'on a fondus en masses un peu considérables. Dans les matières pierreuses, moins ductiles de leur nature, les fentes de retrait sont infiniment plus nombreuses et plus profondes, ainsi que nous le montrent les basaltes et les coulées volcaniques. Pourquoi les roches lunaires auraient-elles été soustraites aux lois de la physique? D'ailleurs les résultats de la théorie sont confirmés par l'observation directe. Ces fentes, ces crevasses de la lune ont été reconnues et signalées. Les astronomes les désignent par le nom de rainures. Leurs dimensions ont même été mesurées. La longueur varie de 4 à 50 lieues, la plus grande largeur dépasse 1500 mètres, la profondeur est inconnue. On a relevé plus de 90 de ces crevasses sur la moitié de la lune qui nous est visible. Elles se croisent en tout sens, et traversent quelquefois des cratères volcaniques, preuve évidente qu'elles sont d'origine plus récente que ces derniers. Le globe lunaire peut être comparé à une sphère d'argile desséchée et fendillée. Profondément crevassée, privée de mers et d'atmosphère, la lune est donc un astre mort où la vie organique est depuis longtemps anéantie, où règne le silence le plus absolu, où des froids d'une rigueur extraordinaire succèdent sans transition à des chaleurs excessives.

Mais j'ai hâte de vous ramener sur la terre.

Notre planète étant beaucoup plus grosse, le refroidissement a fait moins de progrès. Nous venons de voir que l'épaisseur de la couche consolidée est encore bien faible par rapport à la masse. Un temps viendra cependant où se produiront les phénomènes qui ont eu lieu sur notre satellite. Heureusement pour nous et nos successeurs, ce temps est encore infiniment éloigné, et nous pouvons nous rassurer sur les effets prochains du refroidissement aussi complétement que sur les conséquences du choc d'une comète. Comme les destinées de la terre nous importent, à juste titre, beaucoup plus que celles de la lune, je veux, cette fois, vous citer quelques chiffres.

Les eaux et les mers, avons-nous vu, seront absorbées par imbibition et capillarité aussi bien que par combinaison chimique ou hydratation, au fur et à mesure que se formeront de nouvelles roches par la consolidation de la masse centrale fondue. D'après les expériences de Durocher, l'absorption de l'eau par les divers feldspaths (qui sont la base de toutes les roches ignées) varie de 41 à 269 dix-millièmes de leur poids. Une moyenne d'essais sur 30 substances minérales a donné une absorption de 127 dix-millièmes. Les expériences de Thurmann sur 28 roches diverses ont indiqué une absorption par imbibition comprise entre 0 et 30 pour 100. Je pense donc rester beaucoup au-dessous de la vérité en estimant à 1/2 pour 100 l'absorption des roches par porosité. Or, nous savons que le poids du globe étant 100, celui des roches solides ou à l'état de fusion ignée est représentée par 99,9958 et celui de la to-

Digitized by Google

talité des eaux par 0,0042. Il en résulte que si les eaux étaient également réparties dans toute la masse terrestre supposée refroidie jusqu'au centre, le degré d'imbibition ne serait que de 0,0000 42. Par conséquent, les feldspaths les moins absorbants peuvent renfermer encore cent fois plus d'eau que n'en contiendrait chaque parcelle terrestre, et en adoptant le chiffre proposé de 1/2 pour 100 comme représentant la capacité d'absorption moyenne de l'écorce solide, les roches à venir pourraient faire disparaître au moins cinquante océans. Mais il faut aussi tenir compte des combinaisons chimiques qui, sans aucun doute, contribueront puissamment à accélérer le résultat final.

On a calculé que le desséchement complet des mers sera opéré bien avant que le refroidissement ait gagné le centre du globe. Toute la couche refroidie est imbibée d'eau jusqu'à une très-grande profondeur, ainsi que le témoignent les innombrables infiltrations si incommodes et quelquefois si dangereuses dans les mines; puis l'humidité, l'eau de carrière qui imprègnent toutes les roches quelles qu'en soient la nature et l'origine. L'écorce solide est en quelque sorte une masse poreuse dans laquelle l'eau s'insinue par les mille canaux qui lui sont ouverts, envahissant les profondeurs et cheminant lentement mais sûrement vers le centre au fur et à mesure que le domaine du feu se rétrécit. L'antagonisme entre les deux éléments, qui avait commencé à l'extérieur, se continue dans les entrailles de la terre, et comme autrefois, l'eau finira par avoir raison de son adversaire. En tenant compte de toutes les causes d'absorption que je viens d'indiquer, plusieurs géologues pensent que l'océan primitif a déjà diminué du cinquantième de son volume, et que toutes les eaux auront disparu quand la portion solide du globe aura atteint une épaisseur de moins de 150 kilomètres.

Évidemment l'absorption de l'air aura lieu beaucoup plus tard, les rainures terrestres ne pouvant se produire et demeurer béantes qu'à une époque où la consolidation de la partie encore liquide sera fort avancée. Il me reste à vous montrer qu'elles seront plus que suffisantes pour engloutir l'atmosphère.

Quelle que soit l'épaisseur de la couche d'air qui nous environne, la pression qu'elle exerce sur le baromètre indique qu'elle n'aurait qu'une hauteur de 8 kilomètres si elle possédait partout la densité qu'on lui connaît au niveau de la mer. Son volume, dans ces conditions, serait de 4 millions de myriamètres cubes. Le volume de la terre étant de 1083 millions de myriamètres cubes, il suffirait d'un retrait produisant moins de 4 millièmes de vide pour absorber l'atmosphère. Or, la contraction de toutes les roches est infiniment plus grande, puisque, par le seul fait de la cristallisation, les roches fondues diminuent en moyenne d'un dixième de leur volume, ainsi qu'il résulte des expériences de M. Delesse et de M. Ch. Deville. Je me borne à vous présenter seulement un des côtés de la question, car, à ma connaissance, on n'a pas encore essayé de calculer le volume probable des rainures qui s'ouvriront dans la terre à la suite de son refroidissement. A cet égard on ne saurait être trop réservé.

Notre planète est donc destinée à passer à l'état de lune par la perte de ses eaux et de son atmosphère. La vie disparaîtra peu à peu de sa surface. La chaleur solaire, n'étant plus retenue par l'écran de l'air extérieur, rayonnera librement vers les immensités. Des nuits glaciales succéderont brusquement à des insolations très-intenses. Comme un astre mort entraînant à sa suite un autre cadavre, la terre continuera cependant de décrire dans l'espace ses ellipses éternelles. Mais le refroidissement gagnera le soleil lui-même, qui finira par s'obscurcir et par s'éteindre. Alors le froid et les ténèbres règneront sans partage dans notre système. Qu'adviendra-t-il de tous ces morts? Ici, la science se tait, et je mets fin à notre entretien.

CH. CONTEJEAN.
Professeur à la Faculté des sciences de Poitiers.

ENSEIGNEMENT LIBRE.

PHYSIOLOGIE MÉDICALE

COURS DE M. MAREY (1).

Du mouvement dans les fonctions de la vie.

V.

DES PHÉNOMÈNES MUSCULAIRES.

Messieurs,

Dans la précédente séance, nous avons vu comment l'action nerveuse chemine à travers les nerfs; nous savons que le muscle, lorsqu'il a déjà reçu l'excitation, reste un certain temps avant de réagir, c'est ce temps d'arrêt que Helmholtz a appelé *pause* ou temps perdu. Nous allons étudier aujourd'hui les phénomènes qui se passent dans le muscle lui-même.

Voici une patte de grenouille dont le nerf est isolé. Je soumets ce nerf à des excitations variées, courants voltaïques, courants induits, pincement, etc. Dans tous ces cas la patte réagit de la même manière. Au bout d'un temps que nos sens ne peuvent apprécier, mais que vous avez pu mesurer à l'aide des appareils enregistreurs, cette patte donne une convulsion brusque, violente, de très-courte durée. Cette convulsion ne ressemble en rien aux mouvements prolongés et réglés que l'animal exécutait pendant la vie. C'est qu'en effet ce mouvement diffère notablement de la contraction proprement dite, et je vous ai dit à l'avance (2) que la contraction est constituée par une série de secousses très-fréquentes qui, fusionnées entre elles, donnent naissance à un raccourcissement plus ou moins prolongé du muscle; c'est ce qui constitue la contraction proprement dite.

Jusqu'ici, l'auscultation seule a révélé la complexité de la contraction musculaire. J'espère vous prouver que l'emploi de la méthode graphique permet de pousser plus loin la connaissance de ce phénomène. C'est au moyen des appareils enregistreurs que je vais essayer de résoudre les questions suivantes :

1° Quels sont les caractères d'une secousse musculaire?

2° Comment les secousses s'ajoutent-elles les unes aux autres pour produire la contraction?

3° Quelle est l'influence du nombre des secousses sur l'intensité de la contraction musculaire?

---

(1) Voyez les numéros 10, 12, 20 et 21.
(2) Voyez la deuxième leçon dans le n° 12.

Digitized by Google

De la secousse musculaire; des moyens d'en déterminer graphiquement la forme.

Helmholtz, le premier, a donné des tracés graphiques de la secousse musculaire. La figure 135 est empruntée à ce physiologiste.

Ce graphique représente une secousse unique; les ondulations qui accompagnent chacune de ses deux périodes, celle d'ascension et celle de descente, correspondraient à des saccades dans le mouvement par lequel le muscle se raccourcit et se relâche. Ces tracés datent d'une époque déjà reculée et sont entachés d'erreurs qui me paraissent tenir à la disposition vicieuse de l'appareil. Dans les petites ondulations isochrones

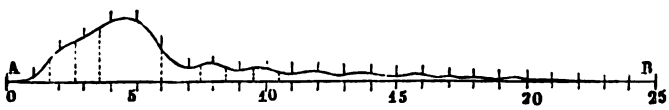


Fig. 135.

entre elles qui viennent se surajouter, pour ainsi dire, au mouvement général, il ne faut voir que les oscillations isochrones que produit un poids suspendu à l'extrémité du muscle. Ce muscle, en effet, est élastique, et comme tel doit nécessairement permettre au poids qui le distend d'osciller d'une façon rhythmée. Du reste, un autre graphique de la secousse musculaire a été donné par Helmholtz lui-même; il diffère notablement du précédent. Voici ce graphique (fig. 136) que j'emprunte au *Traité de physiologie* de M. Béclard :

On ne voit plus, dans cette seconde figure, les petites oscillations que présentait la première, et cela vient justifier l'idée que j'émettais tout à l'heure, que ces ocillations étaient accidentelles et produites par la disposition même de l'appareil enregistreur. En comparant les figures 135 et 136, on voit encore entre elles des différences frappantes. — 1° Au point de vue de la durée absolue de la secousse : la première correspond environ à trois cinquièmes de seconde, la seconde à trois dixièmes (1); — 2° au point de vue de la durée relative des périodes d'ascension et de descente qui correspondent, la première au raccourcissement du muscle, la deuxième au retour de celui-ci à ses dimensions normales. Or, dans le premier tracé, l'ascension occupe le quart de la durée totale, dans le second il en occupe les deux tiers.

Vous verrez tout à l'heure que la secousse musculaire peut présenter des caractères différents, suivant qu'elle est fournie par un muscle frais ou par un muscle fatigué. Mais outre ces conditions physiologiques qui modifient la fonction musculaire elle-même, le graphique peut être altéré par une imperfection de l'appareil enregistreur. Aussi, malgré les règles générales que je vous ai déjà données relativement à la construction des appareils, je dois insister de nouveau sur la nécessité d'employer un levier très-léger. En effet, toutes les fois qu'il est animé d'un mouvement très-rapide, le levier présente un danger, celui de déformer le mouvement par sa *vitesse acquise*. Cet effet n'est à craindre que si le mouvement qu'on enregistre est rapide, mais il croît avec la rapidité même du mouvement communiqué. Or, comme la vitesse acquise est un effet du poids du levier, il faut diminuer ce poids autant que possible pour atténuer le plus qu'on peut cette cause d'erreur. En myographie, plus que dans tout autre cas de l'emploi du graphique, il faut faire des leviers très-légers, de telle sorte que le mouvement propre à l'appareil soit infiniment faible et s'éteigne dans les frottements, si minimes qu'ils soient, de la plume sur le papier. Alors les mouvements communiqués à l'instrument par le muscle, beaucoup plus énergiques que les précédents, s'enregistrent seuls et sans erreur sensible.

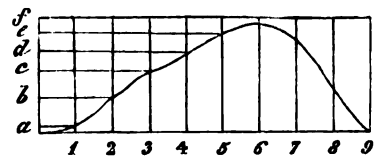


Fig. 136.

Disposition des appareils.

Il y a diverses manières de recueillir le mouvement musculaire que l'on veut enregistrer. On sait qu'un muscle qui se contracte ne change pas pour cela de volume et qu'il gagne précisément en largeur ce qu'il perd en longueur. On peut donc, à volonté, transmettre au levier enregistreur les mouvements produits par les changements de longueur du muscle ou ceux que produit son changement de diamètre dans le sens transversal. Cette dernière méthode rend possible l'expérimentation sur l'animal vivant et même sur l'homme, ce qui étend beaucoup le domaine des études myographiques et pourra fournir au clinicien de nouveaux moyens de diagnostic dans les affections de l'appareil musculaire.

En expérimentant sur la grenouille, je me servirai du myographe que vous connaissez déjà; celui qui nous a servi à déterminer la vitesse du courant nerveux. Je supprime dans cet appareil (1) le levier contact *lc* et je ne conserve que le levier *lm* mis en mouvement par le raccourcissement du muscle. Un cylindre tournant autour d'un axe horizontal servira à recevoir le graphique.

Quant au myographe qui permet d'étudier sur le vivant les phénomènes musculaires, voici quelle est sa disposition.

La figure 137 représente cet appareil que j'appellerai *pince myographique*. Il se compose de deux branches *a* et *b* s'articulant au point *c*, de telle sorte que la branche *a* puisse basculer autour de ce point comme le fléau d'une balance. Deux disques de métal sont placés aux extrémités des deux branches. Chacun de ces disques communique par un fil avec l'un des pôles d'une bobine d'induction à glissière comme celle de du Bois-Reymond. Un ressort à boudin rapproche l'une de l'autre les deux branches et en forme une pince qui saisit entre les deux disques de métal le muscle dont on veut enregistrer la contraction. D'autre part, les deux branches de la pince se continuent en arrière de leur articulation *c*, la branche inférieure porte sur son prolongement un tambour à air T dont la membrane est tournée en haut et reçoit le contact d'une vis

(1) Ces mesures de la durée des secousses musculaires sont empruntées au Mémoire de Helmholtz et à la Physiologie de Béclard; elles ne ressortent pas de la mesure des deux graphiques précédents pour lesquels on a employé des appareils animés de vitesses différentes.

(1) Voy. 4e leçon, fig. 129 dans le n° 21.

Digitized by Google

de pression v qui traverse le prolongement de la branche supérieure. On conçoit que si le muscle saisi entre les deux mors de la pince reçoit, à travers les disques de métal, une décharge électrique, la secousse du muscle, traduite par un gonflement subit de celui-ci, écartera les mors de la pince et, par un mouvement de bascule, fera presser la vis v sur la membrane du tambour. Ce mouvement communiqué à l'air du tambour se transmet au moyen d'un tube de caoutchouc à un deuxième tambour dont la membrane reproduit à distance tous les mouvements du muscle. Un levier de myographe, mis en mouvement par cette seconde membrane, écrit sur un cylindre la secousse ou la série de secousses produites par le muscle auquel est appliqué la pince myographique.

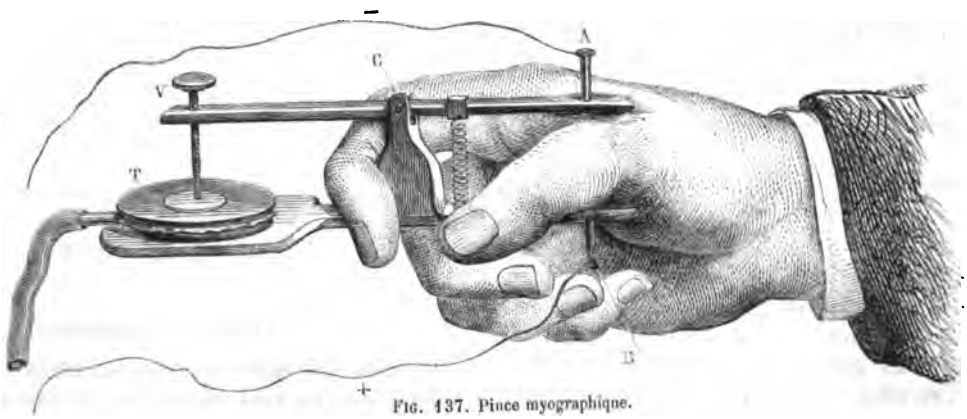


Fig. 137. Pince myographique.

Dans la figure 137, ce sont les muscles de l'éminence thénar qui sont saisis entre les mors de la pince.

De la forme réelle d'une secousse musculaire.

Malgré toutes les précautions que l'on puisse prendre dans la construction des appareils, il reste toujours dans le tracé une certaine déformation qui tient à plusieurs causes. D'une part, à ce que la pointe du levier, qui s'élève et s'abaisse tour à tour, ne se meut pas suivant une ligne verticale, mais décrit un arc de cercle dont le rayon est donné par la longueur même du levier. D'autre part, le levier est animé d'une vitesse si grande, qu'il entre presque toujours en vibration et trace une ligne légèrement onduleuse au lieu d'une courbe simple qu'il devrait enregistrer sans cet accident. De ces diverses causes résulte, dans le tracé, une légère déformation qui pourrait facilement se corriger en vertu des considérations suivantes :

La courbe ox étant fournie par une secousse musculaire, il faut d'abord lui faire subir la correction de l'erreur due à l'arc de cercle qui a le levier pour rayon. Soit o l'origine de la courbe. Si le cylindre était immobile et que le levier s'élevât jusqu'au niveau du maximum x, il décrirait, non pas la verticale qui part du point o, mais l'arc de cercle qui se détache du même point. Plus le levier s'élèverait, plus il s'écarterait de la verticale pour se porter sur la droite. Or, pendant que le cylindre tourne, le levier décrit toujours le même arc et déforme le tracé en déviant chaque point de la courbe sur la droite, et cela d'autant plus fortement que le levier s'élève plus haut. On peut diminuer cette cause d'erreur en augmentant la longueur du levier; mais alors intervient une autre influence fâcheuse, celle des vibrations qui se produisent d'autant plus facilement que le levier est plus long.

Voici comment il faudrait procéder si l'on voulait corriger l'erreur que produit dans ce graphique l'arc de cercle décrit par le levier de l'instrument. En prenant au compas la longueur du levier, et avec cette longueur comme rayon, on trace (fig. 138) un arc de cercle dont le centre serait sur la ligne des abscisses prolongée et qui s'élèverait du point o, origine de la courbe. Menons parallèlement à la ligne des abscisses autant de droites que nous voudrons; chacune d'elles coupe à la fois la verticale, l'arc de cercle et la courbe tracée par le muscle; cette dernière est même coupée en deux points par chaque ligne horizontale. Or, les points coupés par chacune de ces lignes sont tous situés à une même hauteur et auront tous subi une déviation semblable; il faudra donc les ramener tous vers la gauche d'une même quantité. Cette quantité sera indiquée pour chaque point par la distance qui sépare, à ce même niveau, l'arc de cercle et la verticale. Ainsi les points a' et a'' devront être reportés sur la gauche d'une longueur égale à la distance oa; les points b' et b'', d'une longueur égale à ob; le sommet x', d'une longueur égale à ox. En effectuant cette correction pour un grand nombre de points pour la

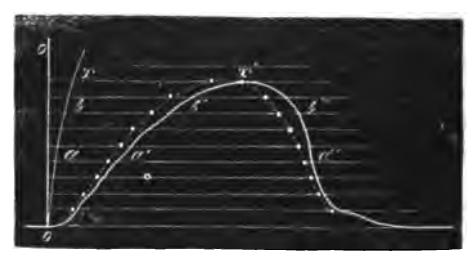


Fig. 138.

courbe, on obtiendra une courbe nouvelle qui représentera plus fidèlement les mouvements musculaires. — L'influence de l'arc de cercle sur la forme du graphique est d'autant plus prononcée que la translation du papier est plus lente. Il n'est pas nécessaire d'insister plus longuement sur ces phénomènes dont l'évidence est suffisante.

Les effets de la vibration du levier sont plus difficiles à démontrer. Le graphique obtenu par Helmholtz (fig. 135), sans emploi d'un levier, pourrait faire croire que ces ondulations sont bien réellement produites par des variations rhythmées dans le raccourcissement du muscle. Je maintiens toutefois mon opinion sur la nature de ces ondulations, et cela pour la rai-

Digitized by Google

son suivante. D'abord l'intensité de ces ondulations est toujours en raison de la brusquerie avec laquelle le levier est mis en mouvement par le muscle. Dans le graphique de Helmholtz, on voit ces vibrations faibles, au commencement de la secousse, s'éteindre peu à peu à la manière des oscillations pendulaires. Leur intensité est à son maximum dans les cas où la secousse présente la brusquerie d'un véritable choc, et diminue lorsque le muscle se raccourcit avec plus de lenteur. On en pourra juger par la figure 139, qui montre des secousses de moins en moins brusques et de moins en moins vibrantes en même temps.

Une preuve plus directe peut être tirée de l'expérience suivante. On sait qu'une tige vibrante quelconque possède pour ses vibrations une fréquence déterminée, toujours la même, fréquence qui résulte de la masse de la longueur et de l'élasticité de la tige. Or, si l'on vient à modifier ces conditions en raccourcissant la tige ou en changeant son poids, la fréquence des vibrations changera nécessairement. J'ai pu m'assurer qu'il en était ainsi pour les vibrations que présentent les graphiques musculaires, et qu'on peut, en changeant le poids ou la longueur du levier, obtenir pour un même muscle des graphiques dont les vibrations varient d'amplitude et de fréquence. Il faut donc n'attacher aucune signification à l'existence ou à l'absence de ces petites ondulations du tracé qui se trouvent surtout dans la période d'ascension.

En vous prévenant de ces causes d'erreur dans la production des graphiques musculaires, j'ai voulu, messieurs, pousser aussi loin que possible la rigueur et la précision, mais je me hâte de vous dire que l'influence de ces causes d'erreur est très-minime, et qu'en pratique on peut les négliger sans inconvénient, ainsi que vous le verrez bientôt.

Des conditions qui modifient la forme de la secousse musculaire.

Enregistrées au moment où le muscle est fraîchement préparé, les secousses présentent une grande brièveté. Elles prennent une durée de plus en plus grande à mesure que le muscle se fatigue par des secousses successives. L'expérience suivante va vous montrer la transition graduelle d'une forme à une autre pour une succession de secousses. Je vais recueillir sur un même cylindre les graphiques d'une centaine de secousses musculaires provoquées à intervalles réguliers et commençant toutes à un même moment de la rotation du cylindre. Vous voyez la disposition de l'expérience. Le cylindre qui reçoit le tracé tourne autour d'un axe horizontal. Son diamètre est de 14 centimètres, sa vitesse de rotation est indiquée par les ondulations que trace un diapason de 100 vibrations doubles par seconde. (Le cylindre fait un tour en une seconde et demie.) A côté du cylindre et dans un plan parallèle à son axe est un petit chemin de fer qui porte sur un chariot une tige verticale. C'est sur cette tige qu'est placé le myographe dont le levier, horizontalement dirigé, vient reposer par sa pointe sur la surface enfumée du cylindre. Or, pendant que le cylindre tourne, le chariot s'avance et, avec lui, le levier du myographe qu'il porte. De la combinaison du mouvement circulaire du cylindre et du mouvement rectiligne du chariot résulte une hélice dont le pas est d'autant plus serré pour une même vitesse de rotation du cylindre que le chariot se meut plus lentement.

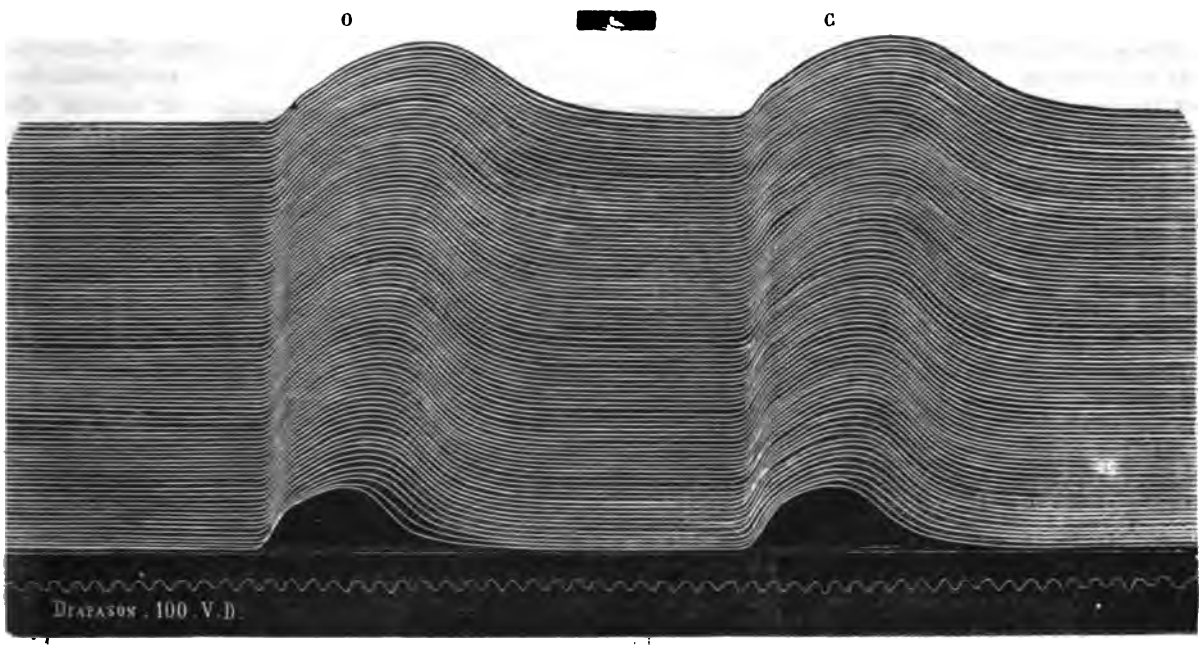


Fig. 139.

Un excentrique est disposé sur l'un des fonds du cylindre, de telle sorte qu'à chaque tour un courant électrique se produira et se rompra. De là deux excitations élastiques transmises au muscle à chaque tour du cylindre. Chaque mouvement imprimé par le muscle au levier enregistreur viendra interrompre la régularité de l'hélice en produisant le graphique d'une secousse ; et comme ces secousses sont produites à un même moment de la rotation du cylindre, elles commencent toutes verticalement les unes au-dessus des autres.

Si j'étale sur un plan (fig. 139) le graphique que je viens d'obtenir, nous y voyons deux séries verticales de secousses musculaires : l'une en O correspond aux excitations produites par les courants induits d'ouverture, et l'autre en C représente les secousses provoquées par les courants induits de clôture. Ces

Digitized by Google

deux séries se ressemblent entre elles d'une manière parfaite.

La ligne tracée au bas de la figure par un diapason de 100 vibrations doubles permet d'apprécier la durée absolue de chacune des secousses. Enfin vous savez que ces graphiques ayant pour abcisses les tours d'une hélice ascendante, c'est en bas de la figure que se trouvent les secousses fournies par le muscle frais, tandis qu'en haut elles correspondent à un certain degré d'épuisement du muscle.

On peut tirer de l'examen de ces graphiques les conclusions suivantes. Sous l'influence de la fatigue, trois modifications surviennent dans le graphique.

1° La durée des secousses augmente ;

2° La période d'ascension (raccourcissement du muscle) s'allonge notablement ;

3° L'amplitude de la secousse s'accroît également. (Mais cet accroissement n'est que passager. Si j'avais continué l'expérience plus longtemps, vous eussiez vu cette amplitude décroître et la secousse s'éteindre peu à peu, perdant graduellement de son intensité tout en continuant à augmenter en durée.)

Pour justifier l'expression de fatigue musculaire que j'ai employée tout à l'heure, et pour prouver que ce n'est pas à l'altération du nerf par les excitations successives qu'est due la modification qu'éprouve la secousse, je vais agir sur le muscle lui-même. Pour cela j'applique la pince myographique sur les muscles de la cuisse d'un lapin qui vient d'être tué, et j'obtiens le graphique représenté figure 140.

Fig. 140.

C'est toujours de bas en haut que se lisent les graphiques successifs, du commencement et de la fin de l'expérience. On voit très-bien ici les changements produits par la fatigue et l'extinction graduelle de la secousse musculaire. — Le courant induit de rupture produit seul une secousse dans le muscle.

Mais, pendant la vie, ces phénomènes d'épuisement ne se produisent pas ; ils sont en tout cas bien moins énergiques. La pince myographique, appliquée sur moi aux muscles de l'éminence thénar, fournit un graphique régulier et dans lequel les secousses sont très-peu modifiées par la fatigue, ce qui tient à ce que, pendant la vie, il se fait une réparation continuelle.

Plusieurs influences modifient la forme du graphique de la secousse musculaire : ainsi, lorsque l'épuisement du muscle a amené la modification caractéristique qui a été signalée plus haut, il suffit de soumettre ce muscle à une température plus élevée pour obtenir, pendant quelques instants, le graphique du muscle non épuisé.

MAREY.

CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS.

CHIMIE AGRICOLE (1).

COURS DE M. BOUSSINGAULT
(de l'Institut).

De la chaleur animale.

Un des phénomènes les plus curieux, sans contredit, c'est l'existence chez les êtres vivants d'une *chaleur propre* qui est plus ou moins indépendante de la température du milieu environnant. Cette chaleur propre qui, chez l'homme adulte, est de 37 degrés, lui permet de supporter tour à tour les rigueurs de l'hiver et les ardeurs de l'été ; de passer rapidement de l'équateur au pôle ; et même en quelques heures de quitter le sol brûlant de la plaine pour s'élever sur des montagnes couvertes de neige. Que, plus est, il peut affronter des températures très-élevées ; par exemple séjourner dans un four pendant la coction de certains aliments ; et par opposition, vivre dans des climats ou le froid est assez intense pour congeler tous les liquides de l'organisme.

Lavoisier, le premier, a dit : « La respiration n'est qu'une combustion lente de carbone et d'hydrogène, qui est semblable en tout à celle qui s'opère dans une lampe ou dans une bougie allumée ; et, sous ce point de vue, les animaux qui respirent sont de véritables corps combustibles qui brûlent et se consument. Dans la respiration, comme dans la combustion, c'est l'air de l'atmosphère qui fournit l'oxygène et le calorique ; mais comme dans la respiration, c'est la substance même de l'animal, c'est le sang qui fournit le combustible ; si les animaux ne réparaient pas habituellement par les aliments ce qu'ils perdent par la respiration, l'huile manquerait bientôt à la lampe, et l'animal périrait comme une lampe s'éteint lorsqu'elle manque de nourriture. »

Nous avons vu, dans la leçon précédente, que l'air qui a servi à la respiration contient moins d'oxygène et une plus grande quantité d'acide carbonique et de vapeur d'eau que l'air normal. Le sang se charge d'oxygène et exhale l'acide carbonique et l'eau qui le rendraient impropre à la nutrition ; ce phénomène a lieu à travers la membrane des aréoles pulmonaires, sur laquelle des vaisseaux sanguins épanouissent leurs plus fines ramifications, traversées par le sang noir qui acquiert bientôt une couleur vermeille. Cette absorption et cette exhalaison ont lieu conformément aux lois de la dissolution des gaz.

(1) Voy. les numéros 1, 2, 6, 8 11, 15, 21, 22 et 23.

Digitized by Google

Lavoisier, tout d'abord, crut que le poumon était le siége exclusif de la combustion. Dans ce cas il en devait résulter une élévation considérable de température que le poumon ne pourrait pas supporter. Lagrange, qui avait fait cette objection, pensait que dans le poumon il y avait seulement échange de gaz, et que les réactions chimiques s'opéraient dans les capillaires généraux. Lavoisier, lui-même, n'avait pas manqué de donner comme provisoire les détails de sa doctrine, et l'on voit en lisant ses mémoires qu'il pensait que le phénomène de la combustion avait lieu pendant la circulation. Il avait reconnu aussi que tout le tégument externe participe à l'acte de la respiration, et par conséquent de la calorification. Les travaux de Spallanzani confirmèrent les prévisions de Lavoisier et l'hypothèse de Lagrange. W. Edwards ajouta de nouvelles preuves à celles que Spallanzani avait données, en démontrant d'une manière péremptoire que dans la respiration il se fait un échange de gaz, et il prépara la démonstration donnée par Stevens, Hoffmann et Magnus : qu'il existe des gaz libres dans le sang, et que par conséquent les réactions chimiques produisant et entretenant la calorification peuvent s'effectuer dans toute l'étendue du torrent circulatoire.

On s'est servi de thermomètres pour apprécier ce qui est relatif à la chaleur locale, et de calorimètres pour mesurer la totalité de la chaleur émanée d'un animal dans un temps donné. L'exploration des parties profondes a été faite à l'aide d'aiguilles thermo-électriques. Lavoisier et Laplace employaient la méthode directe, qui consiste à placer l'animal dans un calorimètre rempli de glace à 0 degré, et construit de façon à entretenir d'une manière continue un courant d'air pur autour de l'animal. Les recherches de MM. Regnault et Reiset, et celles de MM. Andral et Gavarret, ont été faites par la méthode directe ; il en est de même des travaux de M. Scharlings. Si les résultats obtenus n'ont rien d'absolu, ils peuvent néanmoins servir à établir certaines relations entre les causes qui modifient les phénomènes chimiques de la respiration et les variations correspondantes de la chaleur animale. Nous avons institué la méthode indirecte, laquelle par l'analyse comparative des aliments et des matières excrémentitielles chez un animal soumis à la ration d'entretien, fait connaître d'une manière rigoureuse, en nature et en poids, ce que cet animal a perdu par la peau et les voies respiratoires, pendant toute la durée de l'expérience. En faisant intervenir la méthode directe on saura combien d'oxygène a été absorbé, combien d'acide carbonique, d'eau et d'azote a été exhalé. On pourra calculer rigoureusement le poids des principes immédiats transformés en acide carbonique et en eau : celui des principes albuminoïdes ; et enfin, le poids de ces principes changés, sous l'influence de l'oxygène en matières excrémentitielles azotées (urée, acide urique, cholique, etc.).

Nous connaissons maintenant la cause et le siége de la chaleur animale ; nous avons des procédés pour la mesurer, cherchons ce qu'elle devient. Cette chaleur se perd au fur et à mesure qu'elle se développe. Les causes principales de refroidissement sont : le rayonnement du corps vers l'espace ; la température du milieu ambiant ; et enfin, l'évaporation de l'eau qui entre dans la composition des humeurs et des tissus, c'est-à-dire la transpiration qui règle presque entièrement la température des animaux dits à sang chaud. Il y a encore un grand nombre d'autres causes qui peuvent faire varier l'intensité de la chaleur propre des êtres vivants. Nous allons successivement examiner les principales.

Toutes les observations s'accordent pour démontrer que le rayonnement des corps vers l'espace est la cause d'une déperdition considérable de chaleur. Ce refroidissement est lent, insensible, mais continu. Le milieu ambiant exerce aussi une grande influence. L'homme s'y soustrait par les vêtements ; les mammifères, par leurs fourrures ; et les oiseaux par leurs plumes. Cependant il faut remarquer que vêtements, fourrures et plumes n'ont d'action préservatrice que par la présence de la couche d'air qui s'y trouve emprisonnée. On sait qu'à température égale la sensation du froid est plus vive lorsque l'air est agité ; dans ce cas, en effet, l'air renfermé dans les vêtements est remplacé par d'autres couches plus froides.

Quant à l'évaporation, c'est elle, avons-nous dit, qui règle la température des animaux. Si la température s'élève, le corps transpire, du froid se produit et la température fixe du corps ne s'élève pas ; si, au contraire, il y a un abaissement de température, la transpiration diminue, puis cesse ; puis, enfin, le froid augmentant, la respiration et la circulation s'accélèrent ; la combustion est plus vive, il y a une plus grande quantité de chaleur produite et le corps conserve encore sa température fixe.

L'observation a appris que les oiseaux ont une température intérieure plus élevée que celle des mammifères.

Oiseaux.	Température.	Mammifères.	Température.
	°		°
Pigeon.....	43,3	Mouton.....	40,0
Canard.....	42,5	Chien.....	39,0
»	»	Chat.....	38,0
Chat-huant.....	41,0	Cheval.....	37,0

Les reptiles et les poissons ont une température inférieure à celle des mammifères et peu supérieure à celle du milieu ambiant.

Excès de la température de l'animal sur celle de l'air.

	Température.
	°
Brochet.....	3,9
Requin.....	1,3
Truite.....	0,6
Vipère.....	5,6
Grenouille.....	4,4
Tortue.....	2,8
Crapaud.....	0,1
Insectes et Mollusques de.....	0,1 à 1,7

Continuons d'examiner les causes qui, chez l'homme, ont de l'influence sur la chaleur propre du corps. Nous savons qu'il y a une relation intime entre la chaleur animale et la respiration ; la première est subordonnée à la seconde. Si l'on prend pour mesure de l'intensité de la respiration la quantité de carbone consommée dans la respiration par des individus de divers âges et placés dans les mêmes conditions, on trouve que la respiration atteint son maximum d'intensité vers trente ans et diminue graduellement vers la fin de la vie. La chaleur propre doit donc subir une décroissance correspondante. L'observation a donné, en effet, les résultats suivants :

Homme de 30 ans.....	37 degrés.
Homme de 60 ans.....	35 à 36
Homme de 80 ans.....	34 à 35

L'ingestion des aliments augmente à la fois l'absorption de l'oxygène et le dégagement de l'acide carbonique ; par suite, la chaleur animale s'accroît. Si la quantité d'aliments ingérés est insuffisante, il y a inanition, et l'animal consomme pour

Digitized by Google

les besoins de sa respiration la substance même de ses tissus et surtout les graisses mises en dépôt dans son organisme. Le régime alimentaire n'exerce qu'une faible action sur l'activité des phénomènes de la respiration. Si l'aliment est végétal, l'oxygène absorbé est employé à brûler le carbone du sang pour former de l'acide carbonique qui est exhalé ; si l'aliment est animal il se produit peu d'acide carbonique, et c'est avec l'hydrogène que l'oxygène atmosphérique se combine. Il n'est pas étonnant que la chaleur animale soit indépendante du régime.

	Température.	Aliments.
Ouvriers indiens.... ..	37°,1	Riz, poissons.
Prêtres de Boudha.....	37,1	Végétaux seulement.
Soldats anglais.....	37,1	Viande, légumes, pain.

Dans les pays chauds, on consomme moins d'aliments, on mange beaucoup de fruits qui, à l'état de maturité, ne contiennent guère que 12 pour 100 de carbone ; tandis que dans les pays froids, chez les Esquimaux, par exemple, la nourriture, qui consiste en grande partie en huile de poisson, contient de 60 à 80 pour 100 de carbone. Le morse, le veau marin et le saumon sont les aliments ordinaires de ces peuples qui résistent à l'influence dépressive du froid. Ils mangent chaque jour de 6 à 8 kilogrammes de chair crue et avalent en morceaux de l'huile gelée de baleine. Cependant c'est une race saine et vigoureuse que n'attaquent ni le scorbut ni la phthisie.

Nous pouvons conclure que l'homme, pour résister aux températures extrêmement basses, doit se couvrir de vêtements convenables, dont l'effet, avons-nous dit, est d'emprisonner la couche d'air échauffé par la surface cutanée et de diminuer l'évaporation. L'homme doit encore se réfugier sous des abris afin d'éviter le rayonnement des objets environnants et l'action des vents. Il doit aussi faire usage d'aliments riches en carbone, autrement dit de combustibles pour entretenir sa chaleur propre. Nous avons vu que, grâce à l'évaporation pulmonaire et cutanée, l'homme conserve sa température normale; le fait est général, et s'applique aussi au cas dans lequel la chaleur est excessive et autant à redouter que le froid extrême. Il faut ajouter que les vêtements ne sont pas moins utiles contre l'extrême chaleur que contre l'extrême froid. Ils sont un obstacle au rayonnement des corps chauds environnants, et toujours à cause de l'air qu'ils renferment. Je vais rapporter des observations et des expériences de Tillet qui vous montreront la température extrême que l'on peut supporter et l'influence des vêtements dans cette circonstance. C'était en 1764, Tillet et du Hamel avaient été envoyés dans l'Angoumois par l'Académie, pour y observer l'insecte qui dévore les grains de blé et y chercher les moyens d'arrêter ses ravages. Ils trouvèrent que le blé devait être passé au four après avoir retiré le pain. Voici l'observation qu'ils firent en même temps :

« Nos dernières expériences furent faites à Larochefoucault, qui ne possédait qu'un seul four banal. Nous voulûmes connaître le degré de chaleur qu'il conservait le lendemain du jour ou l'on avait retiré le pain. Je mis un thermomètre sur une pelle et l'introduisis dans le four. Alors une fille attachée au service du four s'offrit d'y entrer et de m'avertir de la hauteur précise de la liqueur lorsque je le lui demanderais. J'hésitais à l'exposer à une chaleur aussi forte, malgré l'assurance qu'on me donnait qu'elle ne courait aucun risque et comme je laissais entrevoir quelque inquiétude, cette fille en sourit et entra dans le four. Lorsqu'elle y fut, je lui donnai un crayon afin que par un trait léger fait sur graduation elle m'apprît plus sûrement le point de hauteur auquel la liqueur monterait. Après que cette fille fut restée dans le four pendant quelques minutes, elle fit un trait à l'endroit où la liqueur était arrêtée, je retirai le thermomètre, et je vis que l'esprit-de-vin était monté à plus de 100 degrés : je craignis encore plus qu'une chaleur aussi considérable ne l'incommodât, et nous l'engagions, M. du Hamel et moi, à sortir du four. Mais malgré nos instances elle voulut y rester encore et nous dit qu'elle était accoutumée à s'y tenir plus longtemps sans avoir besoin de respirer un air frais. Le thermomètre fut donc remis en expérience pendant 10 minutes environ, qu'elle resta dans le four; lorsqu'elle sortit le thermomètre marquait 130 degrés.

Cette fille avait le visage fort rouge; mais d'ailleurs elle ne nous parut pas plus incommodée qu'on ne l'est quelquefois dans l'été à la suite d'une chaleur extraordinaire, et sa respiration n'avait rien de bien précipité. » Il y avait quelque diminution à faire sur cette grande chaleur, que le thermomètre avait indiquée, mais tout réduit à un calcul exact, elle avait été beaucoup au delà de 112 degrés. L'Académie fit recommencer l'expérience par M. Marantin; cette femme étant malade, une autre entra dans le four. La chaleur y était telle, qu'au moment de l'expérience cette femme avait autour d'elle des pommes et de la viande de boucherie qui cuisaient. Cependant on devait laisser la porte du four ouverte pendant les dix ou quinze minutes que cette femme y resta. C'est à la faveur des habits qui les protégeaient contre le rayonnement trop énergique des parois échauffées du four, que ces femmes ont pu supporter des températures aussi élevées. Tillet fit des expériences sur des animaux. Un bruant qui n'avait subi que pendant quatre minutes l'action d'une température de 76°,43 n'en périt pas moins de suffocation et de convulsions six minutes après avoir été retiré du four et mis à l'air libre. Un autre oiseau de même espèce exposé à une température de 78° après avoir été enveloppé d'un linge double, qui laissait libre la tête et les pattes, y resta huit minutes, et quand on retira le maillot, on trouva les plumes sèches et médiocrement chaudes; après avoir bu un peu de vin, il voltigea dans sa cage. La même expérience réussit avec des poulets et un lapin. Blagden fit une expérience du même genre sur une chienne : l'animal fut enveloppé dans une couverture, de façon à protéger ses pattes contre la chaleur, on mit une feuille de papier au-devant de sa tête et de sa poitrine afin de soustraire ces parties aux rayonnements du poêle. La température était alors à 104°,44. La bête était haletante, mais si peu affectée, qu'elle témoignait du plaisir quand on s'approchait d'elle. La température s'étant élevée à 113°, on constata que la couverture était mouillée par le produit de la perspiration. Blagden fit des expériences sur lui-même pour constater l'influence protectrice des vêtements. Il mit par dessus ses chaussures et ses vêtements une paire de bas très-épais; il mit aussi des gants, et à l'aide d'une toile, il garantit son visage du rayonnement du poêle alors rouge de chaleur. Il se promena pendant huit minutes dans une chambre dont la température était de 118 degrés. Il eut la conscience qu'il lui serait possible de supporter une température plus élevée. Dans une autre expérience Blagden s'exposa à une température de 100 degrés et constata que l'haleine dirigée sur la boule du thermomètre le faisait descendre de plusieurs degrés et produisait une impression de fraîcheur. La température prise entre les vêtements et la peau était de 36°,67. Il nous

Digitized by Google

suffit d'indiquer ici que les maladies impriment à la chaleur animale certaines modifications. Ainsi par exemple, la chaleur animale s'abaisse dans le choléra et s'élève dans la fièvre typhoïde, les fièvres intermittentes, la variole, la rougeole, la scarlatine, la pneumonie, etc.

En résumé, la chaleur propre des êtres vivants, et en particulier des animaux, prend exclusivement sa source dans les réactions chimiques dont l'économie est le siége.

L'homme, à l'exclusion de tous les animaux, a le privilége de ne subir que de faibles variations dans sa température propre, ce qui lui permet de vivre dans tous les climats.

De la sécrétion de l'urine. Sa composition et ses propriétés.

Non-seulement le corps élimine les substances qui n'ont pas été attaquées par les sucs digestifs ou qui ont été absorbées en excès, mais encore les matériaux qui ont constitué le corps vivant et qui, par une série de modifications et de transformations se sont altérés, sont devenus inutiles et même deviendraient nuisibles s'ils n'étaient expulsés : cette expulsion est l'œuvre des sécrétions.

Nous ne nous occuperons que de l'urine et du lait, en faisant remarquer que la sécrétion du lait, qui diffère de toutes les autres, sert à l'alimentation de toute une classe d'animaux vertébrés dans le premier âge de la vie.

L'urine résulte de l'action des reins sur le sang artériel qui les traverse. Ces organes jouent à l'égard du sang le rôle d'un filtre : ils l'épurent en lui enlevant un certain nombre de matériaux qui ne peuvent plus servir à l'économie.

Les reins sont deux organes glanduleux destinés à la sécrétion de l'urine; ils sont situés de chaque côté de la colonne vertébrale au niveau de la région lombaire; ils sont à peu près égaux en volume; leur longueur chez l'homme est de 9 à 11 centimètres, leur largeur de 5 à 6 centimètres, et leur épaisseur de 3 centimètres. Ils ont la forme d'un haricot et leur couleur est rouge lie de vin.

Le rein se compose de deux substances distinctes, visibles à l'œil nu : l'une périphérique ou substance corticale, et l'autre profonde ou substance tubuleuse. La première, épaisse de 2 à 5 millimètres, envoie vers le centre de l'organe des prolongements (colonnes de Bertin) séparés par des intervalles à peu près égaux. La seconde substance, qui est blanchâtre, est striée et disposée sous forme de cônes à base périphérique et à sommet central (pyramides de Malpighi). Ces pyramides, au nombre de 8 à 15, aboutissent au centre du rein dans une poche membraneuse appelée *bassinet*. Du sommet de chaque pyramide partent les canalicules urinifères (tubes de Bellini), au nombre de trois à cinq cents, correspondants à de petits orifices creusés dans cette pyramide. Chaque tube de Bellini se divise et se subdivise en canalicules plus petits et forme les pyramides de Ferrein. Ces canalicules se terminent par une vésicule renfermant une houpe vasculaire : c'est le corpuscule de Malpighi. On compte dans le rein environ deux millions de ces corpuscules. Ils terminent les canalicules et peuvent être aperçus à l'œil nu; ils ont le volume d'une tête d'épingle et sont formés de deux parties : une capsule enveloppante, et une touffe vasculaire, ou glomérule, contenue dans cette capsule.

L'artère rénale se divise en gros troncs qui traversent la substance corticale à travers les colonnes de Bertin, et là se subdivisent en artérioles qui se contournent pour former les glomérules de Malpighi. Il s'établit alors un travail d'exosmose et d'endosmose qui rend compte du passage de la partie aqueuse du sang dans les canalicules urinifères. Les glomérules et les canalicules concourent ensemble à la séparation de l'urine du sang. Des calices, l'urine passe dans le bassinet qui se rétrécit presque immédiatement et prend le nom d'urèthre. Ce canal, qui a le calibre d'une plume à écrire, conduit l'urine à la vessie.

La sécrétion urinaire existe chez tous les vertébrés, chez les mollusques et quelques insectes; sa composition varie suivant les espèces animales. Chez l'homme, l'urine, à l'état normal, est un liquide limpide, couleur jaune clair, d'une saveur amère et salée, et d'une odeur caractéristique. Sa densité est très-variable et se trouve comprise entre 1015 et 1030. Dans les conditions ordinaires du régime alimentaire sa réaction est acide; après son émission elle devient alcaline et exhale une odeur ammoniacale très-marquée. La composition que Berzelius lui a assignée, il y a plus de quarante ans, est encore celle qu'on lui reconnaît aujourd'hui.

Analyse de l'urine normale chez l'homme d'après Berzelius.

Eau	933,00
Urée	30,10
Acide lactique libre Lactate ammonique Extrait de viande soluble dans l'alcool Matières extractives solubles dans l'eau	17,14
Acide urique	1,00
Mucus vésical	0,32
Sulfate potassique	3,71
Sulfate sodique	3,17
Phosphate sodique	2,94
Phosphate ammonique	1,65
Chlorure sodique	4,45
Chlorure ammonique	1,50
Phosphate calcique Phosphate magnésique	1,00
Silice	0,03
	1000,00

La quantité d'urine sécrétée par un homme en vingt-quatre heures, est, au maximum, de 1656 grammes et au minimum de 655. Pour faire une analyse exacte il faut prendre toute l'urine rendue pendant vingt-quatre heures afin d'avoir un mélange de l'urine du matin, de celle des boissons et de celle des aliments. L'urine des boissons contient une grande proportion d'eau. Parmi les principes solubles dans l'urine, l'*urée* est le plus remarquable. Ce corps fut extrait pour la première fois de l'urine, en 1773, par Rouelle le jeune. Ce n'est qu'en 1799 que Fourcroy et Vauquelin l'ont obtenu à l'état pur. Pour extraire l'urée de l'urine fraîche, on évapore celle-ci jusqu'au dixième de son volume, on ajoute peu à peu de l'acide azotique pur, et l'on obtient ainsi un magma cristallin qui, lavé avec de l'eau froide, puis exprimé entre des feuilles de papier buvard, constitue l'azotate d'urée. On traite ensuite la dissolution de cet azotate d'urée par du carbonate de baryte : il se forme de l'azotate de cette base, l'acide carbonique se dégage, et l'urée se trouve libre. On évapore la liqueur jusqu'à siccité, on traite le résidu par l'alcool qui ne dissout que l'urée et la dépose par le refroidissement à l'état cristallisé. Ces cristaux sont de longs prismes aplatis, sans face terminale, incolores, neutres et doués d'une saveur fraîche et amère qui rappelle celle du nitre. Dans l'industrie on prépare ce corps au moyen du prussiate jaune de po-

Digitized by Google

tasse et du peroxyde de manganèse. L'urée se rencontre dans l'urine de tous les animaux qui se nourrissent d'aliments fortement azotés. On a cru pendant longtemps que l'urée se formait dans le rein, mais MM. Prévost et Dumas, après avoir enlevé cet organe à des animaux, reconnurent la présence de l'urée dans le sang. Ce corps serait formé dans les tissus partout où se fait l'oxydation des matériaux azotés devenus impropres à la vie.

L'acide urique, découvert par Scheele, d'abord dans les calculs urinaires de l'homme, ensuite dans l'urine elle-même, est regardé comme le produit d'un travail de combustion éliminatoire moins avancé que pour l'urée. Cet acide est rarement à l'état libre dans l'urine de l'homme où le plus souvent il est uni à la soude. On ne le rencontre pas généralement dans l'urine des herbivores; mais les urines des oiseaux, des serpents et des mollusques, sont presque uniquement composées d'acide urique. On sait que l'engrais, usité sous le nom de *guano*, consiste essentiellement en urate d'ammoniaque provenant d'excréments d'oiseaux, *guanaes*, dont la nourriture est composée de poissons. D'après mes recherches, 100 kilogrammes de guano contenant l'azote de 600 kilogrammes de poissons de mer, on est étonné de la quantité de poissons dévorés par ces oiseaux dans le cours des siècles.

L'acide urique provenant de l'homme se dépose sous la forme d'une poudre jaune. A l'état cristallin ce corps est blanc, doux au toucher, sans saveur et sans odeur. L'analyse a appris que l'urée et l'acide urique renferment :

	Urée.	Acide urique.
Carbone	20,0	36,0
Hydrogène	6,6	2,4
Oxygène	26,7	28,2
Azote	46,7	33,4
	100,0	100,0

L'urine d'un homme inactif, dont la nourriture est très-azotée, est plus riche en acide urique que celle d'un homme qui se livre à des exercices violents et qui se nourrit principalement de matière végétale.

Influence du régime sur 1000 parties d'urine.

	Matières dissoutes.	Urée.	Acide urique.
Régime mixte	67,8	32,5	1,2
» animal	87,4	53,2	1,5
» végétal	59,2	22,5	1,0

On peut reconnaître la présence de l'acide urique par les deux caractères suivants : ce corps donne, avec l'acide azotique, une dissolution jaune, laissant par l'évaporation un résidu rouge pourpre qui se dissout dans l'eau sans lui communiquer de couleur; la dissolution azotique de l'acide urique devient violette sous l'influence des émanations ammoniacales.

L'acide hippurique est spécial à l'urine des herbivores. Le régime végétal chez l'homme fait apparaître cet acide dans son urine; un animal soumis à un régime azoté donne de l'urine contenant de l'acide urique au lieu d'acide hippurique.

Pour extraire l'acide hippurique de l'urine, on y ajoute un vingtième de son poids d'acide chlorhydrique concentré et on laisse le mélange au repos pendant vingt-quatre heures. On obtient des cristaux sous forme de longs prismes à quatre faces.

L'urine renferme encore un grand nombre de sels; les plus abondants sont les chlorures de sodium et de potassium.

Arrêtons-nous un instant sur les éléments anormaux que l'on rencontre dans l'urine : tels que l'albumine, le sucre, la bile, etc. La présence de l'albumine dans l'urine est un caractère commun à certaines maladies, telles que les *hydropisies*, la *néphrite albumineuse*, la *bronchite capillaire*, l'*emphysème pulmonaire*, etc. Le suc trouvé en assez grande quantité dans l'urine caractérise la maladie connue sous le nom de *diabète*.

Analyse de l'urine de diabétique.

Sucre	13,4
Urée	0,8
Acide urique	0,0
Sels alcalins	2,0
Eau	83,8
	100,0

Dans l'*ictère*, l'urine est colorée par de la bile; dans l'*hippurie*, l'urine est riche en acide hippurique et contient peu d'urée; dans le *rachitis*, elle renferme beaucoup de phosphates et d'acide lactique; enfin l'urine des chlorotiques est dépourvue de fer, etc., etc. Il suffit ici de montrer la liaison qui existe entre la sécrétion urinaire et les principales fonctions de la vie, et non de donner tous les caractères des urines morbides.

Signalons maintenant l'influence de l'alimentation sur la sécrétion urinaire. L'eau ingérée en assez grande quantité est éliminée presque immédiatement par les reins : l'urine est alors pâle et moins dense qu'auparavant. Nous avons constaté que l'urine des carnivores est acide, ajoutons que celle des herbivores est alcaline. Cette alcalinité est due à la présence du bicarbonate de potasse. Cependant, avons-nous dit, si l'on soumet un herbivore à un régime azoté, son urine devient acide; un carnivore, nourri exclusivement de végétaux, émet une urine alcaline. Le physiologiste Lehmann fit l'expérience sur lui-même : pendant huit jours, il ne vécut que de viande et d'œufs, il trouva dans son urine 53gr,19 d'urée rendue en vingt-quatre heures; pendant huit autres jours il ne mangea que des légumes et ne trouva plus que 15gr,41 d'urée en vingt-quatre heures.

Lorsqu'on abandonne de l'urine normale à l'air, elle s'altère rapidement et devient alcaline. L'urée et l'acide urique se décomposent : il y a production d'ammoniaque et formation de carbonate d'ammoniaque.

Henri Amaury.

AVIS.

Les abonnés dont l'époque de renouvellement échoit à la fin de mai, et qui désirent à cette occasion changer les conditions de leur souscription et profiter des avantages que leur présente, soit l'abonnement d'un an, s'ils ne sont abonnés qu'au semestre, soit la souscription aux deux *Revues des cours scientifiques* et *littéraires*, sont priés d'avertir immédiatement M. Germer Baillière, en lui envoyant un mandat sur la poste ou des timbres-poste.

Les abonnés qui, d'ici à la fin de mai, n'auront fait parvenir aucun avis au bureau de la *Revue*, seront considérés comme désirant continuer leur abonnement dans les mêmes conditions. En conséquence, ils recevront par l'entremise des porteurs, soit à Paris, soit dans les départements, une quittance analogue à celle qui leur a été déjà remise lors de leur première souscription.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE DES COURS SCIENTIFIQUES

DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE — NUMÉRO 26 — 26 MAI 1866

Paris, 25 mai 1866.

Dans la séance du 14 mai, M. le Verrier a fait une longue et intéressante communication à l'Académie des sciences, relativement aux divers systèmes de prévisions météorologiques employés ou préconisés jusqu'ici. Il conclut à l'abandon des prévisions proprement dites, dont les bases étaient toujours fort incertaines; et dorénavant le service météorologique installé à l'Observatoire se bornera à prévenir par le télégraphe de l'arrivée et de la direction des bourrasques. En Angleterre, une commission vient également de proposer la suppression du service des prévisions météorologiques qui y avait été organisé par feu l'amiral Fitzroy.

M. Charles Sainte-Claire Deville a présenté un travail dans lequel il rapproche la dépression barométrique considérable du 11 mai, et l'abaissement subit de température qui l'accompagna, du passage dans l'orbite terrestre d'un des deux anneaux d'aérolithes dont les astronomes admettent l'existence. M. le Verrier a contesté la justesse de ce rapprochement et des considérations théoriques qu'on en pouvait tirer, en montrant que M. Charles Deville prenait indifféremment des observations faites en divers lieux du globe, et, qu'en suivant la même marche, on pouvait établir que la dépression barométrique avait été à peu près aussi considérable dans les jours qui ont précédé le 11 mai que dans ceux qui l'ont suivi. M. Ch. Deville doit répondre dans la prochaine séance.

M. Charles Sainte-Claire Deville communique une note qui lui annonce un tremblement de terre à Catane (Sicile), et une lettre de M. Fouquié relative aux éruptions volcaniques de la baie de Santorin qui continuent toujours. Citons enfin, un mémoire de M. Alphonse Milne Edwards sur une espèce de cerf encore inconnue, qui vit en liberté dans le parc de l'empereur de la Chine, des travaux exécutés en Angleterre et confirmant la récente découverte de M. Delaunay sur le ralentissement du mouvement de rotation de la terre; enfin la présentation d'une nouvelle arme que son inventeur dit devoir être très-utile aux agents de police et autres personnes chargées de faire des arrestations.

E. A.

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS.

PHYSIQUE MÉDICALE.

COURS DE M. GAVARRET (*).

Des images par réflexion et par réfraction.

1. Dans la théorie classique des appareils dioptriques si remarquable par l'élégance et la simplicité de ses formules, on admet que les épaisseurs des lentilles sont assez faibles pour qu'on puisse complétement les négliger. On se trouve ainsi conduit à substituer des axes secondaires, ou droites menées par le centre optique, aux rayons lumineux transmis sans déviation, et à compter indifféremment les distances sur l'axe principal à partir de la face antérieure de la lentille, ou de sa face postérieure, ou du milieu de l'intervalle qui sépare ces deux faces, ou enfin du centre optique; il en résulte que la position des foyers principaux et la valeur de la distance focale restent forcément indéterminées, et que l'erreur commise est de même ordre que l'épaisseur nécessairement finie de la lentille employée. En supposant les lentilles infiniment minces, on enlève donc à leur théorie le caractère de rigueur scientifique, et on laisse planer une indécision fâcheuse sur la valeur des éléments les plus importants de la dioptrique. Ajoutons d'ailleurs que, dans l'étude des phénomènes physiques de la vision, cette hypothèse est complétement inadmissible.

Dans ses *Recherches dioptriques* (**), communiquées en décembre 1840 à l'Académie de Gœttingue, Gauss a montré que, sans rien enlever à la simplicité des formules, on peut tenir compte de l'épaisseur des lentilles. — Une traduction de ce beau mémoire a été publiée en 1851 par M. Bravais dans le XXXIIIe volume des *Annales de chimie et de physique;* M. Breton (de Champ) a donné, dans l'introduction de son *Traité du lever des plans et de l'arpentage*, une analyse étendue de ce travail dont l'exposition complète avait déjà été faite par M. Verdet dans ses leçons de l'École normale. — Cependant, malgré son incontestable supériorité, la nouvelle théorie des lentilles n'a encore été adoptée, ni dans l'enseignement de nos lycées, ni dans celui de nos Facultés des sciences. Cela tient sans doute à ce que, dans son mémoire, Gauss a eu recours à des considérations mathématiques d'un ordre trop élevé pour démontrer les propriétés des appareils dioptriques.

Une étude attentive de cette théorie nous a convaincu de la

(*) Voy. d'autres leçons de M. Gavarret *sur la climatologie* dans les n°s 7, 8, 10, 12 et 15.

(**) *Abhandlungen der kœniglichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Gœttingen*, tome Ier.

Digitized by Google

possibilité de l'exposer sans sortir du cadre des notions géométriques les plus élémentaires, et de la mettre à la portée des élèves de nos facultés et même de nos lycées. Nous avons été ainsi conduit à l'introduire dans notre enseignement, et nous le faisons avec d'autant plus d'empressement et de confiance, que la connaissance des résultats des recherches de Gauss est indispensable à tout physiologiste jaloux de se rendre compte de la marche des rayons lumineux à travers les milieux transparents de l'œil.

L'introduction, dans l'étude des propriétés des miroirs sphériques, d'un des éléments fondamentaux de la théorie de Gauss a le double avantage de simplifier beaucoup les formules et de rendre leur démonstration plus facile. Telle est la raison qui nous a déterminé à faire précéder la théorie des images par réfraction de l'exposition de la théorie des images par réflexion. Nous pourrons ainsi, dans le cas très-simple de la réflexion, nous familiariser avec une partie des considérations que nous aurons à développer dans l'étude des appareils dioptriques.

2. La théorie des appareils catoptriques repose sur les deux lois de la réflexion :

1° Les angles d'incidence et de réflexion sont dans un même plan.

2° Les angles d'incidence et de réflexion sont égaux.

Il résulte de ces deux lois que, dans le cas d'un miroir plan :

Un point lumineux et son image sont situés sur une même perpendiculaire à la surface réfléchissante, l'un en avant, l'autre en arrière, et à égale distance du miroir.

Un objet et son image sont de même grandeur, symétriques, l'un en avant, l'autre en arrière de la surface réfléchissante.

3. Les lois de la réfraction sont au nombre de trois :

1° Les angles d'incidence et de réfraction sont dans un même plan.

2° Le rapport du sinus de l'angle d'incidence et du sinus de l'angle de réfraction est indépendant de l'angle d'incidence et constant pour deux mêmes milieux.

3° Quand la lumière rebrousse chemin à travers les mêmes milieux, elle repasse par les mêmes points de l'espace.

Le rapport des sinus des angles d'incidence et de réfraction prend la dénomination d'*indice de réfraction*. Quand la lumière passe du *vide* dans une substance quelconque M, ce rapport est l'*indice principal* du milieu M. — L'air est si peu réfringent que, si la substance considérée M est solide ou liquide, on peut, sans erreur sensible, prendre pour son *indice principal* le rapport des sinus des angles d'incidence et de réfraction quand la lumière passe de l'air dans cette substance. — Cela revient à prendre l'indice de réfraction de l'air pour *unité;* c'est ce que nous ferons constamment. — Nous appellerons *indice principal* ou simplement *indice de réfraction* d'une substance quelconque, solide ou liquide, le rapport des sinus de l'angle d'incidence et de l'angle de réfraction, lorsque la lumière passe de l'air dans cette substance.

Considérons deux milieux transparents M_0, M_1, dont les indices de réfraction soient n_0, n_1. — L'indice de réfraction de M_1 par rapport à M_0 est $\frac{n_1}{n_0}$ ou, en d'autres termes, quand la lumière passe de M_0 dans M_1, le rapport des sinus des angles d'incidence et de réfraction est $\frac{n_1}{n_0}$. — L'indice de réfraction de M_0 par rapport à M_1, c'est-à-dire le rapport des sinus des angles d'incidence et de réfraction quand la lumière passe de M_1 dans M_0 est $\frac{n_0}{n_1}$. — Il suit de là que, si la transmission de la lumière se fait à travers un milieu d'indice n et l'air d'indice 1, le rapport des sinus des angles d'incidence et de réfraction est égal à n dans le cas où la lumière passe de l'air dans le milieu M, et à $\frac{1}{n}$ dans le cas contraire où la lumière passe du milieu M dans l'air.

4. Quand il s'agit de surfaces courbes, la réflexion et la réfraction se passent comme si, au point d'incidence, la surface courbe était remplacée par son plan tangent. Les angles d'incidence, de réflexion et de réfraction, sont donc les angles formés par les rayons incidents, réfléchis et réfractés avec la *normale* à la surface courbe au point d'incidence. — Dans toute cette étude, les surfaces courbes dont nous nous occuperons seront toujours des calottes sphériques; la normale au point d'incidence sera facile à déterminer, puisqu'elle se confondra avec la droite menée par le point d'incidence et le centre de courbure de la sphère à laquelle appartiendra la surface considérée.

Nous admettrons d'ailleurs, et ces conditions sont toujours réalisées dans la pratique, d'une part que les surfaces sphériques sont d'une très-faible *amplitude* ou ne comprennent qu'un très-petit nombre de degrés, d'autre part, que les rayons incidents font de très-petits angles avec les normales aux points d'incidence.

Pour plus de commodité et de rapidité dans le langage, nous appellerons *homocentriques* les rayons lumineux dont les directions passent toutes par un même point de l'espace. — Quand il s'agit des rayons incidents, ce point de croisement prend la dénomination de *point lumineux;* on le dit *réel* quand il est placé en avant de la première surface réfléchissante ou réfringente, sur le *trajet* des rayons incidents; *virtuel* quand il est sur les prolongements géométriques de ces rayons en arrière de cette première surface. — On donne le nom de *foyer* au point d'entrecroisement des rayons qui ont éprouvé la dernière réflexion ou la dernière réfraction ; on le dit *réel* ou *virtuel* suivant qu'il est sur le trajet de ces rayons lumineux ou sur leurs prolongements géométriques.

I. — DES IMAGES PAR RÉFLEXION.

5. Les miroirs courbes employés en optique sont des calottes sphériques (fig. 141) d'une très-faible étendue par rapport à la

Fig. 141.

surface de la sphère à laquelle elles appartiennent. — A étant le *centre de figure*, le *sommet* ou le *pôle* de la calotte sphérique

Digitized by Google

MN, et C son centre de courbure, la droite indéfinie XX′ menée par C et par A s'appelle l'*axe principal* du miroir. Toute droite SS′ menée par le centre de courbure C est normale à la surface du miroir, et s'appelle *axe secondaire*. L'angle MCN compris entre deux axes secondaires CM, CN tangents aux bords de la calotte sphérique, et compris dans un plan passant par l'axe principal XX′ mesure l'*amplitude* du miroir. Pour que les images soient nettes, cette amplitude doit être d'un très-petit nombre de degrés.

MIROIRS CONCAVES.

6. Un miroir concave est une calotte sphérique MN qui reçoit la lumière incidente du côté de sa concavité.

7. *Foyer principal.* — Soit SI (fig. 142), un rayon incident quelconque parallèle à l'axe principal. Le rayon réfléchi correspondant IR fait avec la normale CI un angle de réflexion RIC

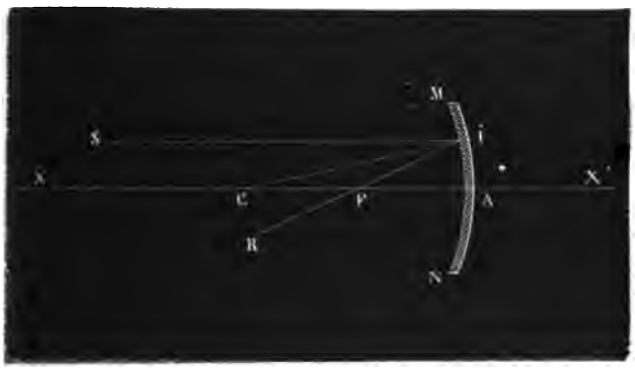


Fig. 142.

égal à l'angle d'incidence SIC, et coupe l'axe principal au point F entre le miroir et le centre de courbe C. SI étant parallèle à AX, les angles SIC, ICA sont égaux comme alternes internes; le triangle CIF est donc isocèle, et les côtés IF, FC sont égaux comme opposés à des angles égaux. En raison de la très-faible amplitude du miroir, IF est sensiblement égal à AF; donc AF = CF et le point F est situé à égale distance du centre de courbure C et du sommet A de miroir. — La même construction et le même raisonnement peuvent s'appliquer à tout autre rayon incident parallèle à l'axe principal et au rayon réfléchi correspondant; il en résulte que tous les rayons réfléchis se croisent en ce même point F lorsque les rayons incidents sont parallèles à l'axe principal.

Ce point F ainsi déterminé est le *foyer principal* du miroir; il est *réel* et situé à égale distance du centre de courbure et du centre de figure du miroir. — La longueur AF est la *distance focale* du miroir; nous la désignerons par la lettre φ. — On convient de considérer cette distance focale comme une quantité *positive* pour indiquer que la longueur AF doit être comptée à partir du point A, en avant du miroir, du côté de la lumière incidente. En appelant r le rayon de courbure CA du miroir, nous avons donc :

$$\varphi = \frac{r}{2}$$

Expression qui détermine la véritable position du *foyer principal* F sur l'axe principal.

Puisque les angles d'incidence et de réflexion doivent toujours être égaux, il est évident que si un point lumineux était placé en F, tous les rayons incidents émanés de ce point lumineux seraient réfléchis parallèlement à l'axe principal.

8. *Plan focal.* — Nous appellerons *plan focal* un plan TT′ (fig. 143), perpendiculaire à l'axe principal, mené par le foyer principal F. Les portions de ce plan rapprochées du point F jouissent de propriétés importantes.

1° Soit SI un rayon incident quelconque. L'axe secondaire CG parallèle à SI joue évidemment le rôle d'un axe principal par rapport à ce rayon incident. D'autre part, en raison de la très-faible amplitude du miroir, BG est sensiblement égal à AF. Le point B où l'axe secondaire CG perce le plan focal TT′ joue donc le rôle d'un foyer principal par rapport à SI et à tous les rayons incidents qui lui sont parallèles. Il en résulte que le rayon réfléchi IR, correspondant à SI, passe nécessairement par le point B, et que tout rayon incident parallèle à SI est réfléchi suivant une droite menée par le point d'incidence et par ce point B.

Donc le foyer d'un faisceau de rayons incidents parallèles entre eux et à SI est *réel* et situé sur le plan focal, au point B, où ce plan est percé par l'axe secondaire

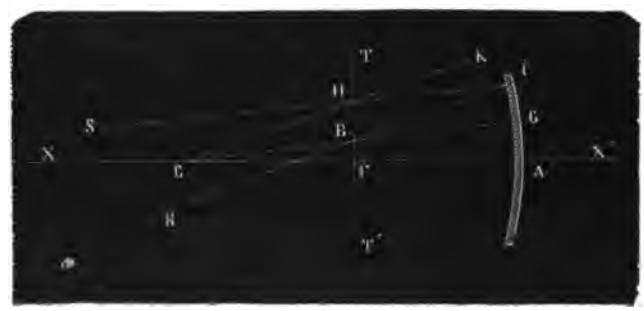


Fig. 143.

parallèle aux rayons incidents. — Dans le cas particulier où les rayons incidents sont parallèles à l'axe principal, le foyer des rayons réfléchis est au foyer principal F.

2° Réciproquement tout rayon incident RI qui passe par un point B du plan focal est réfléchi suivant IS parallèlement à l'axe secondaire CG mené par le point B.

Donc, lorsqu'un point lumineux est situé en un point quelconque B du plan focal, les rayons réfléchis sont tous parallèles entre eux et à l'axe secondaire CG mené par ce point lumineux. — Dans le cas particulier où le point lumineux est au foyer principal F, les rayons réfléchis sont parallèles à l'axe principal.

Il résulte de ces deux propriétés du plan focal qu'un rayon incident quelconque SI et le rayon réfléchi correspondant IR satisfont aux deux conditions suivantes : Le rayon réfléchi IR passe par le point B ou le plan focal est percé par l'axe secondaire CG parallèle au rayon incident SI; le rayon incident pouvant être considéré comme émanant d'un point lumineux situé sur le plan focal au point H où ce plan est percé par SI, le rayon réfléchi IR est nécessairement parallèle à l'axe secondaire CK mené par le point H. Le rayon incident, le rayon réfléchi et ces deux axes secondaires forment donc un parallélogramme CHIB. — Étant donné un rayon incident quelconque, on peut donc toujours construire géométriquement le rayon réfléchi correspondant.

9. *Foyer d'un point lumineux situé sur l'axe principal.* — Soient P (fig. 144) un point lumineux situé sur l'axe principal, et PI un rayon incident quelconque fourni par ce point lumi-

Digitized by Google

neux. Le rayon réfléchi correspondant IR passe par le point B où le plan focal est percé par l'axe secondaire CB parallèle à PI, de plus ce rayon réfléchi est parallèle à l'axe secondaire CH. Ce rayon réfléchi IR dont la position est ainsi déterminée coupe l'axe principal en P′.

Fig. 144.

Les deux triangles rectangles PHF, CBF sont semblables et donnent :

$$\frac{PF}{CF}=\frac{HF}{BF}$$

D'autre part, les deux triangles rectangles CHF, P′BF sont emblables et donnent :

$$\frac{CF}{P'F}=\frac{HF}{BF}$$

Les seconds membres de ces équations sont identiques, les premiers membres sont donc égaux et nous avons :

$$\frac{PF}{CF}=\frac{CF}{P'F}$$

d'où, en tenant compte de la relation $CF=AF=\varphi$;

$$PF \times P'F=\varphi^2.$$

Dans cette équation, la distance focale φ est une quantité constante ; la distance P′F ne dépend donc que de PF et conserve la même valeur quelle que soit l'inclinaison sur l'axe principal du rayon incident émané du point P. Tous les rayons réfléchis se croisent donc sur l'axe principal au même point P′ qui est le foyer du point lumineux P.

Lorsque les rayons incidents sont *homocentriques* et que leur point de croisement est sur l'axe principal, les rayons réfléchis sont donc aussi *homocentriques* et s'entrecroisent sur l'axe principal.

Il est évident que si un point lumineux était placé en P′, les rayons réfléchis se croiseraient tous sur l'axe principal au point P. — Ces deux points P, P′, *réciproques* l'un de l'autre, prennent la dénomination de *foyers conjugués*.

Désignons par les lettres l, l' les distances PF, P′F du foyer principal F du miroir au point lumineux P et au foyer P′ ; nous aurons pour formule générale des foyers conjugués :

$$(1) \qquad ll'=\varphi^2.$$

Pour que cette équation de forme très-simple et de discussion très-facile donne, dans tous les cas, la position *réelle* des points P, P′ sur l'axe principal, adoptons les conventions suivantes : les distances l, l' sont comptées à partir du point F, *positivement* à *gauche* de F, *négativement* dans le sens contraire à *droite* de F (*).

De l'équation (1), on tire :

$$l'=\frac{\varphi^2}{l}$$

La quantité φ^2 est nécessairement *positive*, le signe de l' dépend donc uniquement de celui de l. Par conséquent :

Tant que le point lumineux P est *réel* et à gauche du foyer principal F, c'est-à-dire tant que l est *positif*, l' est aussi *positif* et le foyer P′ est aussi à *gauche* de F et *réel*.

Lorsque le point lumineux P *réel* ou *virtuel* passe à droite de F, l devient *négatif*; l' devient aussi *négatif* et le foyer P′ passe aussi à droite de F, *réel* ou *virtuel* suivant la valeur de l.

A. *Le point lumineux* P *est à gauche du foyer principal* F, *l est positif*. — Dans ce cas, l' est *positif* et P′ est *réel*.

Lorsque le point lumineux P est à l'*infini*, $l=\infty$ et $l'=0$; le foyer P′ est donc au foyer principal F. — Il devait en être ainsi puisque, dans ce cas, tous les rayons incidents sont parallèles à l'axe principal.

Si $l=\varphi$, le point lumineux est au centre de courbure C; $l'=\varphi$ et le foyer P′ est aussi au centre de courbure, superposé au point lumineux P. — Ce résultat était facile à prévoir, puisque, dans ce cas, tous les rayons incidents sont normaux à la surface du miroir et se réfléchissent nécessairement sur eux-mêmes.

Pour toutes les valeurs de l plus grandes que φ, le point lumineux P est *au delà* du centre de courbure ; l' est plus petit que φ et le foyer P′ est compris entre le centre de courbure C et le foyer principal F.—D'ailleurs l' est d'autant plus petit que l est plus grand ; par conséquent, à mesure que le point lumineux P s'éloigne du centre de courbure C et marche vers l'*infini*, son foyer P′ s'éloigne aussi du centre de courbure et se rapproche du foyer principal F.

Pour toutes les valeurs de l plus petites que φ, le point lumineux P est compris entre le centre de courbure C et le foyer principal F ; l' est constamment plus grand que φ et le foyer P′ est au delà du centre de courbure. — D'ailleurs l' est d'autant plus grand que l est plus petit ; par conséquent à mesure que P s'éloigne du centre de courbure et se rapproche du foyer principal F, son foyer P′ s'éloigne aussi du centre de courbure C et marche vers l'*infini*.

Enfin lorsque $l=0$, le point lumineux P est au foyer principal F et $l'=\infty$; le foyer P′ est donc à l'*infini*, ce qui indique que les rayons réfléchis sont parallèles à l'axe principal.

(*) Dans la théorie classique des miroirs concaves, toutes les distances sont comptées à partir du sommet A de la surface réfléchissante, *positivement* à *gauche* de A, *négativement* à *droite* de A. On obtient ainsi une formule des foyers conjugués qui peut facilement être déduite de l'équation (1). En effet, appelons p, p' les distances AP, AP′, nous avons :

$$l=PF=AP-AF=p-\varphi$$
$$l'=P'F=AP'-AF=p'-\varphi$$

La substitution de ces valeurs de l, l' dans l'équation (1) donne :

$$(p-\varphi)(p'-\varphi)=\varphi^2$$

d'où

$$p\varphi+p'\varphi=pp'$$

Et, en divisant tous les termes de cette équation par $pp'\varphi$:

$$\frac{1}{p'}+\frac{1}{p}=\frac{1}{\varphi}$$

Telle est la formule classique des foyers conjugués dans le cas du miroir concave ; φ est une quantité *positive*.

Digitized by Google

B. *Le point lumineux* P *est à droite du foyer principal* F, *l est négatif.* — Nous avons déjà vu que, dans ce cas, l' est aussi *négatif* et le foyer P′ à droite de F.

Tant que l reste, en grandeur absolue, plus petit que φ, le point lumineux P est *réel* et compris entre le foyer principal F et le sommet A du miroir; l' est, en grandeur absolue, supérieur à φ, le foyer P′ est donc situé *derrière* le miroir et par conséquent *virtuel.* — D'ailleurs à mesure que la grandeur absolue de l diminue ou que le point lumineux *réel* P s'éloigne du miroir et se rapproche du foyer principal F, la grandeur absolue de l' augmente et le foyer *virtuel* P′ marche vers l'*infini* en s'éloignant aussi du miroir.

Si $l = -\varphi$, le point lumineux P est au sommet A du miroir; $l' = -\varphi$ et le foyer P′ est aussi au point A superposé au point lumineux.

Enfin, dans tous les cas où la grandeur absolue de l est supérieure à φ, le point lumineux P est *virtuel* ou situé derrière la surface réfléchissante; la valeur absolue de l' est nécessairement alors inférieure à φ, le foyer P′ redevient *réel* et se trouve compris entre le miroir et le foyer principal F. — D'ailleurs l'équation montre que le foyer *réel* P′ s'éloigne du miroir et se rapproche du foyer principal F à mesure que le point lumineux *virtuel* P s'éloigne du miroir et marche vers l'*infini.*

Ainsi, dans tous les cas, les foyers conjugués P, P′ se déplacent en *sens contraires* le long de l'axe principal.

10. *Foyer d'un point lumineux situé hors de l'axe principal.* — Soit S (fig. 145) le point lumineux. L'axe secondaire SCG mené par le point S joue évidemment par rapport aux rayons incidents le rôle d'un axe principal et le foyer des rayons réfléchis doit se trouver sur la droite SG. — A tout faisceau incident de rayons *homocentriques* correspond donc un faisceau réfléchi de rayons *homocentriques;* les deux points de croisement, c'est-à-dire le point lumineux et son foyer, sont assujettis à se trouver sur un même axe secondaire.

Fig. 145.

Le rayon incident SI parallèle à l'axe principal se réfléchit suivant IR qui passe par le foyer principal F, et le rayon incident SI′ qui passe par F se réfléchit suivant I′R′ parallèle à l'axe principal. Le foyer du point S est donc en S′ au point où ces deux rayons réfléchis se coupent sur l'axe secondaire SG.

Des points S, S′ abaissons les perpendiculaires SP, S′P′ sur l'axe principal. En raison de la très-faible amplitude du miroir, l'arc II′ se confond sensiblement avec une perpendiculaire à l'axe principal menée en A. Dès lors nous pouvons poser AI = SP, AI′ = S′P′.

Les triangles rectangles FSP, FI′A sont semblables et donnent :

$$\frac{PF}{AF} = \frac{SP}{AI'}$$

D'autre part, les triangles rectangles FIA, FS′P′ sont semblables et donnent :

$$\frac{AF}{P'F} = \frac{AI}{S'P'}$$

Mais AI = SP et AI′ = S′P′, les seconds membres de ces deux équations sont donc identiques; par suite les premiers membres sont égaux et nous avons :

$$\frac{PF}{AF} = \frac{AF}{P'F}$$

D'où, en remplaçant AF par φ,

$$PF \times P'F = \varphi^2.$$

Les distances PF, P′F du foyer principal F aux pieds P, P′ des perpendiculaires abaissées du point lumineux S et de son foyer S′ sur l'axe principal satisfont donc à la formule générale des foyers conjugués.

Mais, en tenant compte de l'égalité AI′ = S′P′, les triangles rectangles semblables FI′A, FSP, donnent :

$$\frac{S'P'}{SP} = \frac{\varphi}{PF}$$

Pour déterminer la position du foyer S′, nous avons donc les deux relations suivantes :

$$(2) \quad \begin{cases} PF \times P'F = \varphi^2 \\ \dfrac{S'P'}{SP} = \dfrac{\varphi}{PF} \end{cases}$$

La position du point lumineux S étant donnée, les distances PF, SP sont nécessairement connues; la position du foyer S′ est donc déterminée par les équations (2) qui fournissent les valeurs correspondantes de P′F et de S′P′.

Dans la figure 145 le point lumineux S et son foyer S′ sont l'un *au-dessus*, l'autre *au-dessous* de l'axe principal. Ces deux points étant situés sur un même axe secondaire, leur position relative reste évidemment la même dans tous les cas où le centre de courbure C, c'est-à-dire le point d'entrecroisement de cet axe secondaire et de l'axe principal, se trouve compris dans l'intervalle qui sépare le point lumineux de son foyer.

Les équations (2) montrent que tout point lumineux situé sur la perpendiculaire SP a nécessairement son foyer sur la perpendiculaire S′P′. — En raison de la parfaite symétrie des surfaces sphériques, des points lumineux situés sur un plan perpendiculaire à l'axe principal mené par le point P auraient nécessairement leurs foyers sur un plan perpendiculaire à l'axe principal mené par le point P′; de plus ces points lumineux et leurs foyers seraient semblablement distribués sur ces deux plans.

11. *Rapports de position et de grandeur d'un objet et de son image.* — Il résulte de cette dernière considération que si SP (fig. 146) est un objet plan et perpendiculaire à l'axe principal, le miroir en fournit par réflexion, en S′P′, une image semblable, plane et perpendiculaire à l'axe. Dès lors les positions relatives de l'objet SP et de son image S′P′ sont déterminées par la première des équations (2); la seconde de ces équations est évidemment l'expression du rapport de leurs dimensions linéaires.

En appliquant à ces deux équations :

$$PF \times P'F = \varphi^2$$
$$\frac{S'P'}{SP} = \frac{\varphi}{PF}$$

le mode de discussion adopté pour la formule générale des foyers conjugués, on arrive facilement aux conclusions suivantes :

Digitized by Google

A. *L'objet* SP *est à gauche du plan focal* F. — Dans ce cas, PF est *positif*, P'F est donc aussi *positif* et l'image S'P' est à gauche du plan focal et *réelle*.

Si l'objet est *infiniment* éloigné, PF est *infiniment* grand, P'F est *infiniment* petit; l'image S'P' *infiniment* petite par rapport à l'objet SP est située sur le plan focal F.

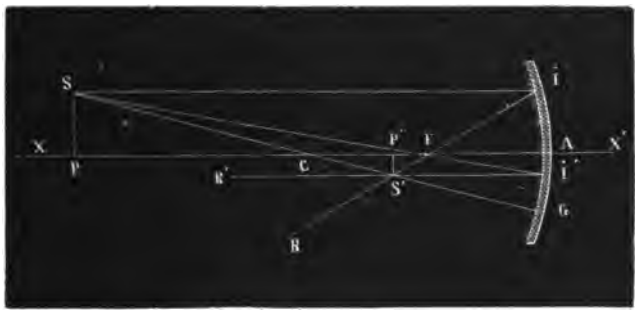


Fig. 146.

A mesure que l'objet SP se rapproche du centre de courbure C, PF diminue et P'F' augmente; l'image S'P', toujours *plus petite* que SP et comprise entre le plan focal F et le centre de courbure C, se rapproche aussi du centre de courbure et *grandit*.

Quand l'objet SP est au centre de courbure C, PF = φ = P'F; l'image S'P' est aussi au centre de courbure C et de même grandeur que l'objet.

Quand l'objet SP est situé entre le centre de courbure C et le plan focal F, PF est *plus petit* que φ, P'F est *plus grand* que φ; l'image *plus grande* que SP passe à gauche du centre de courbure C, *grandit* et s'éloigne vers l'*infini* à mesure que l'objet se rapproche du plan focal F.

Enfin quand l'objet SP est sur le plan focal F, PF = o, P'F est *infiniment* grand; l'image S'P' est donc *infiniment* éloignée et *infiniment grande* par rapport à l'objet.

Ajoutons que cette image *réelle* est toujours renversée, car le centre de courbure C reste constamment dans l'intervalle qui la sépare de l'objet.

B. L'*objet* SP *est à droite du plan focal* F. — Dans ce cas, PF est *négatif*; P'F est donc aussi *négatif* et l'image S'P', passe à droite du plan focal F.

Tant que l'objet SP reste *réel* et par suite compris entre le plan focal F et le miroir, PF est, en grandeur absolue, plus petit que φ et P'F est, en grandeur absolue, plus grand que φ; l'image S'P' est donc située *derrière* le miroir, *virtuelle* et *plus grande* que l'objet.— D'ailleurs plus l'objet se rapproche du plan focal F, plus son image *virtuelle grandit* et s'éloigne derrière le miroir.

Quand l'objet SP est sur le miroir, PF = — φ, P'F = — φ, l'image S'P' est aussi sur le miroir et de même grandeur que l'objet.

Quand l'objet SP devient *virtuel* et passe derrière le miroir, PF est, en grandeur absolue, supérieur à φ, et P'F' est, en grandeur absolue, plus petit que φ; l'image S'P' *réelle* et *plus petite* que l'objet est comprise entre le miroir et le plan focal F. — D'ailleurs, à mesure que l'objet *virtuel* s'éloigne derrière le miroir son image *diminue* et se rapproche du plan focal F.

Ajoutons que cette image *réelle* ou *virtuelle* est toujours *droite*, car le centre de courbure C reste constamment en dehors de l'intervalle qui la sépare de l'objet.

Ainsi donc, en résumé :

1° Comme les foyers conjugués, un objet *réel* ou *virtuel* et son image *réelle* ou *virtuelle* se déplacent toujours *en sens contraires* le long de l'axe principal.

2° Un objet SP et son image S'P', restant toujours compris tout entiers entre l'axe principal et l'axe secondaire SS', sont nécessairement vus sous le même angle par un œil placé au centre de courbure C du miroir.

Miroirs convexes.

12. Toutes les questions examinées à propos des miroirs concaves se présentent dans l'étude des propriétés des miroirs convexes; les mêmes raisonnements appliqués à des constructions analogues nous en donneront la solution.

13. *Foyer principal.*—Soit SI (fig. 147) un rayon incident quelconque parallèle à l'axe principal, le prolongement géométrique du rayon réfléchi correspondant IR coupe l'axe principal derrière le miroir en F. Le triangle CIF est évidemment isocèle et CF = IF; mais, en raison de la très-faible amplitude du miroir, IF est sensiblement égal à AF; donc AF = CF, et

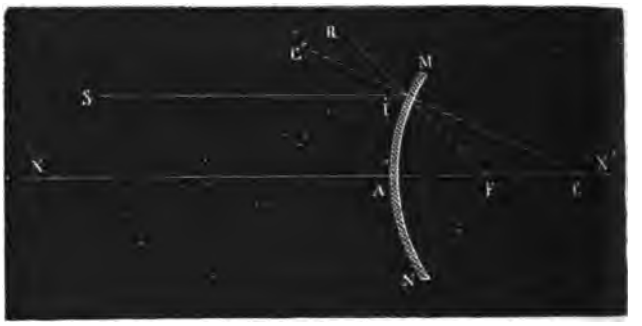


Fig. 147.

le point F est situé à moitié distance du centre de courbure C et du sommet A du miroir. La même construction et le même raisonnement peuvent s'appliquer à tout autre rayon parallèle à l'axe principal et au rayon réfléchi correspondant; il en résulte que les prolongements de tous les rayons réfléchis se croisent en un même point F lorsque les rayons incidents sont parallèles à l'axe principal.

Le point F ainsi déterminé est le *foyer principal* du miroir; il est *virtuel* et situé à égale distance du centre de courbure C et du centre de figure A du miroir. — La longueur AF est la *distance focale* que nous continuerons à désigner par la lettre φ; on convient de considérer cette distance focale comme une quantité *négative*, pour indiquer que la longueur AF doit être comptée à partir du point A *derrière* le miroir. En appelant *r* le rayon de courbure CA du miroir, nous avons donc :

$$\varphi = -\frac{r}{2}$$

expression qui détermine la véritable position du foyer principal F sur l'axe principal.

En vertu de la réciprocité des phénomènes de la réflexion, il est évident que tout rayon incident dont le prolongement passe par le point F est réfléchi parallèlement à l'axe principal.

14. *Plan focal.* — Nous appelerons *plan focal* un plan TT'

Digitized by Google

(fig. 148) perpendiculaire à l'axe principal, mené par le point F. Les portions de ce plan rapprochées de F jouissent de propriétés importantes.

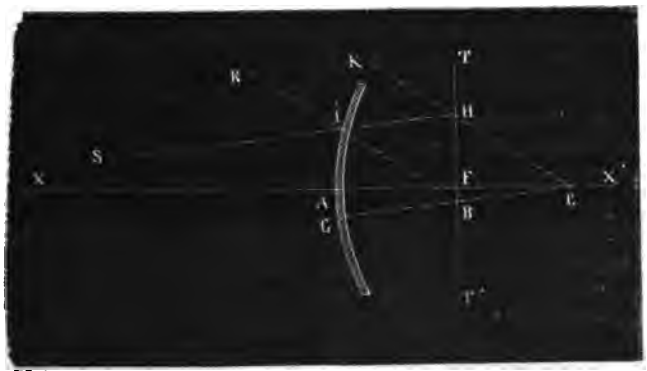


FIG. 148.

1° Soient SI un rayon incident quelconque et CG un axe secondaire parallèle à SI. En raison de la très-faible amplitude du miroir, BG est sensiblement égal à AF; par conséquent, l'axe secondaire CG et le point B jouent, par rapport au rayon incident SI et à tous les rayons parallèles à SI les rôles d'un axe principal et d'un foyer principal. Il en résulte que le prolongement du rayon réfléchi IR, correspondant à SI, passe nécessairement par le point B, et que tout rayon incident parallèle à SI est réfléchi suivant une droite menée par le point d'incidence et par ce point B.

Donc le foyer d'un faisceau de rayons incidents parallèles entre eux est *virtuel* et situé sur le plan focal au point B où ce plan est percé par l'axe secondaire CG, parallèle aux rayons incidents. — Dans le cas particulier où les rayons incidents sont parallèles à l'axe principal, leur foyer *virtuel* est en F.

2° Réciproquement, tout rayon incident RI dont le prolongement passe par un point B du plan focal se réfléchit suivant IS parallèle à l'axe secondaire CG mené par ce point B.

Donc lorsqu'un point lumineux *virtuel* est situé en un point quelconque B du plan focal, tous les rayons réfléchis sont parallèles à l'axe secondaire CG, mené par le point lumineux B. — Dans le cas particulier où le point lumineux *virtuel* est en F, les rayons réfléchis sont parallèles à l'axe principal.

Il résulte de ces deux propriétés du plan focal qu'un rayon incident quelconque SI et le rayon réfléchi correspondant IR satisfont aux conditions suivantes : le prolongement du rayon réfléchi IR passe par le point B où le plan focal est percé par l'axe secondaire CG, parallèle au rayon incident SI; le rayon incident pouvant être considéré comme aboutissant à un point lumineux *virtuel* situé sur le plan focal au point H où ce plan est percé par le prolongement de SI, le rayon réfléchi IR est nécessairement parallèle à l'axe secondaire CK, mené par le point H. Le quadrilatère CHIB formé par les prolongements des rayons incident et réfléchi et par ces deux axes secondaires est un parallélogramme.—Un rayon incident quelconque étant donné, on peut donc toujours construire géométriquement le rayon réfléchi correspondant.

15. *Foyer d'un point lumineux situé sur l'axe principal.* — Soient P (fig. 149), un point lumineux situé sur l'axe principal, et PI, un rayon incident quelconque fourni par ce point lumineux, et dont le prolongement perce en H le plan focal F. Le rayon réfléchi correspondant IR est parallèle à CH, et son prolongement passe par le point B, où le plan focal est percé par la droite CB, parallèle au rayon incident SI. Le prolongement de ce rayon réfléchi IR, ainsi déterminé, coupe l'axe principal en P'.

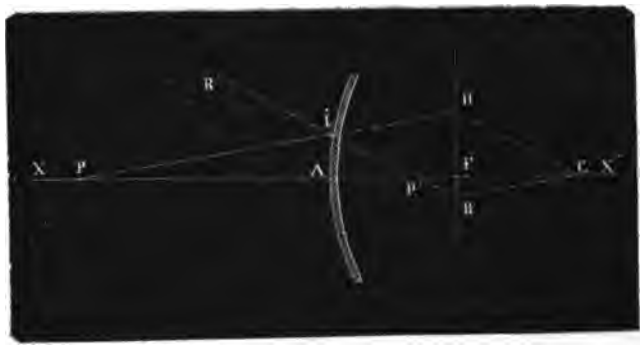


FIG. 149.

Nous avons deux couples de triangles rectangles semblables, PHF,CBF et CHF,P'BF, qui donnent :

$$\frac{PF}{CF}=\frac{CF}{P'F}$$

d'où, en tenant compte de la relation $CF=AF=\varphi$, et en représentant PF et P'F par les lettres l,l' :

$$ll'=\varphi^2 \qquad (1)$$

La distance focale φ est constante, la distance l' ne dépend donc que de l, et reste la même pour tous les rayons incidents émanés du point P. Les prolongements de tous les rayons réfléchis se croisent donc sur l'axe principal au point P', qui est le foyer du point lumineux P.

Lorsque les rayons incidents sont *homocentriques* et que leur point de croisement est sur l'axe principal, les rayons réfléchis sont donc *homocentriques* et leurs directions se croisent aussi sur l'axe principal.

Réciproquement, si un point lumineux *virtuel* était situé sur l'axe principal en P', les rayons réfléchis se croiseraient tous au point P de l'axe principal.—Ces deux points P,P', *réciproques* l'un de l'autre, sont dits *foyers conjugués*.

Pour que la formule générale des foyers conjugués (1) donne, dans tous les cas, la position réelle des points P,P', il suffit de conserver les conventions adoptées à propos des miroirs concaves : les longueurs l,l' sont comptées à partir du point F, *positivement* à *gauche* et *négativement* à *droite* de F (*).

(*) Comptons toutes les distances à partir du sommet A du miroir, *positivement* à *gauche*, *négativement* à *droite* de A ; et désignons par les lettres p,p' les longueurs AP,AP'. Nous aurons, en tenant compte seulement des valeurs absolues de p,p' et φ :

$$l=PF=AP+AF=p+\varphi$$
$$l'=P'F=AF-AP'=\varphi-p'$$

La substitution de ces valeurs de l,l' dans l'équation (1) donne :

$$(p+\varphi)(\varphi-p')=\varphi^2$$

d'où

$$p\varphi-p'\varphi=pp'$$

Si nous mettons en évidence les *signes négatifs* de p' et de φ, et si nous divisons tous les termes par l'expression *positive* $pp'\varphi$, cette équation donne :

$$\frac{1}{p'}+\frac{1}{p}=\frac{1}{\varphi}$$

Telle est la formule classique des foyers conjugués, dans laquelle le

Digitized by Google

De l'équation (1) on tire :

$$l' = \frac{\varphi^2}{l}$$

La quantité φ^2 est nécessairement *positive*, le signe de l' dépend donc uniquement de celui de l. Par conséquent :

Tant que le point P, *réel* ou *virtuel*, est à gauche du foyer principal F, c'est-à-dire tant que l est *positif*, l' est aussi *positif* et le foyer P′ est aussi à gauche de F, *réel* ou *virtuel* suivant la valeur de l.

Lorsque le point lumineux P *virtuel* passe à droite du foyer principal F, l est *négatif*; l' devient aussi *négatif* et le foyer *virtuel* P′ passe à droite du foyer principal F.

En appliquant à la formule (1) le mode de discussion adopté à propos des miroirs concaves, on en déduit, sans difficulté, les conclusions suivantes :

A. *Le point lumineux* P *est à gauche du foyer principal* F, l *est positif.* — Dans ce cas, l' est *positif* et P′ à gauche de F.

Si le point lumineux P est à l'*infini*, son foyer P′ est *virtuel* et coïncide avec le foyer principal F, comme on devait s'y attendre, puisque, dans ce cas, les rayons incidents sont parallèles à l'axe principal.

Tant que le point lumineux P est *réel*, c'est-à-dire placé en avant du miroir, son foyer P′ est *virtuel* et situé derrière le miroir, entre le foyer principal F et le sommet A de la surface réfléchissante. — Le point lumineux P et son foyer P′ se rapprochent ensemble du point A.

Si le point lumineux P est en A, son foyer P′ est aussi en A superposé au point lumineux.

Quand le point lumineux P devient *virtuel*, c'est-à-dire est situé entre le sommet A du miroir et son foyer principal F, son foyer P′ passe à gauche du point A et devient *réel*. — D'ailleurs, à mesure que le point lumineux *virtuel* P s'éloigne de A et se rapproche de F, son foyer *réel* P′ s'éloigne aussi de A et marche vers l'*infini*.

Enfin, quand le point lumineux *virtuel* P est au foyer principal F, son foyer P′ est à l'*infini* et les rayons réfléchis sont parallèles à l'axe principal.

B. *Le point lumineux* P *est virtuel et situé à droite du foyer principal* F, l *est négatif.* — Nous avons déjà vu que, dans ce cas, l' est aussi *négatif* et le foyer P′ est *virtuel* et situé à droite de F.

Tant que le point lumineux *virtuel* P reste compris entre le foyer principal F et le centre de courbure C, son foyer P′ est *virtuel* et situé au delà du centre de courbure. — Le point lumineux et son foyer se rapprochent et s'éloignent ensemble du centre de courbure C.

Quand le point lumineux *virtuel* P est au centre de courbure C, son foyer *virtuel* P′ est aussi en C; dans ce cas, en effet, les rayons incidents étant normaux à la surface réfléchissante doivent se réfléchir sur eux-mêmes.

Enfin, quand le point lumineux *virtuel* P est situé au delà du centre de courbure C, son foyer *virtuel* P′ est situé entre le centre de courbure C et le foyer principal F. — A mesure que ce point lumineux *virtuel* s'éloigne du centre de courbure C et marche vers l'*infini*, son foyer *virtuel* P′ se rapproche du foyer principal F.

second membre est *négatif*, puisque φ est une quantité négative. — Il est facile de voir que, tant que p est positif, c'est-à-dire tant que le point lumineux P est *réel* ou situé *en avant* du miroir, p' est négatif, et le foyer P′ est *virtuel* ou situé en *arrière* de la surface réfléchissante.

Ainsi, dans tous les cas, les foyers conjugués P,P′ se déplacent en *sens contraires* le long de l'axe principal.

16. *Foyer d'un point lumineux situé hors de l'axe principal.* — Soit S (fig. 150) le point lumineux. Le foyer des rayons réfléchis doit évidemment se trouver sur l'axe secondaire SC, qui joue, dans ce cas, le rôle d'un axe principal. — A tout faisceau de rayons incidents *homocentriques* correspond donc un faisceau de rayons réfléchis *homocentriques*; les deux points de croisement, c'est-à-dire le point lumineux et son foyer, sont assujettis à se trouver sur un même axe secondaire.

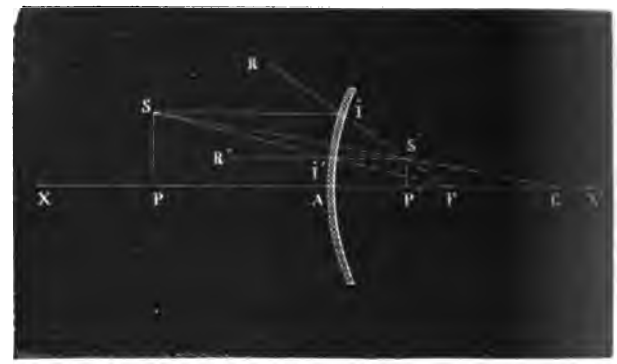


Fig. 150.

Le point S fournit deux rayons incidents, dont l'un SI, parallèle à l'axe principal, se réfléchit suivant IR, qui prolongé passe par le foyer principal F, tandis que l'autre SI′, dont le prolongement passe par le foyer principal F, se réfléchit suivant I′R′, parallèle à l'axe principal. Le foyer du point lumineux S est donc au point S′ où les prolongements de ces deux rayons réfléchis se croisent sur l'axe secondaire SC.

Des points S,S′ abaissons les perpendiculaires SP,S′P′ sur l'axe principal. En raison de la faible amplitude du miroir, AI = SP, AI′ = S′P′. Nous avons ainsi deux couples de triangles rectangles semblables, FSP,FI′A et FIA,FS′P′, qui donnent :

$$(2) \quad \begin{cases} PF \times P'F = \varphi^2 \\ \dfrac{S'P'}{SP} = \dfrac{\varphi}{PF} \end{cases}$$

La première de ces deux équations montre que les pieds P,P′ des perpendiculaires abaissées du point lumineux S et de son foyer S′ sur l'axe principal satisfont à la formule générale des foyers conjugués.

Ces deux équations donnent les valeurs de P′F et de S′P′, et, par suite, déterminent la position du foyer S′ d'un point lumineux quelconque P, dont la position par rapport à la surface réfléchissante est connue.

Dans la figure 150, le point lumineux S et son foyer *virtuel* S′ sont du même côté de l'axe principal. Ces deux points étant sur un même axe secondaire, leur position relative est toujours la même tant que le centre de courbure du miroir est en dehors de l'intervalle qui les sépare.

Les équations (2) montrent encore que tout point lumineux situé sur la perpendiculaire SP a nécessairement son foyer sur la perpendiculaire S′P′. Si donc des points lumineux étaient situés sur un plan perpendiculaire à l'axe principal mené par ce point P, leurs foyers se trouveraient précisément sur un plan perpendiculaire à l'axe principal mené par le point P′; d'ailleurs, ces points lumineux et leurs foyers seraient semblablement distribués sur ces deux plans.

Digitized by Google

17. *Rapports de position et de grandeur d'un objet et de son image.* — Si SP (fig. 151) est un objet lumineux ou éclairé rayonnant vers le miroir convexe, S'P' est nécessairement son image. La première des équations (2) détermine les positions relatives de l'objet SP et de son image S'P', la seconde est l'expression du rapport de leurs dimensions linéaires.

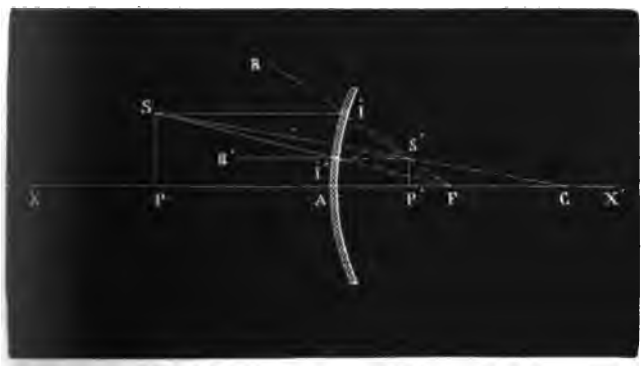


Fig 151.

En appliquant à ces formules le mode de discussion adopté pour les miroirs concaves, on trouve sans difficulté :

A. *L'objet* SP *est à gauche du plan focal* F. — Dans ce cas, l'image S'P' est aussi à gauche de F.

Quand l'objet SP est *infiniment* éloigné du miroir, son image *virtuelle* S'P' est sur le plan focal F, *infiniment* petite par rapport à l'objet.

Tant que l'objet SP reste *réel*, c'est-à-dire à gauche du miroir, son image S'P' est *virtuelle*, comprise entre le plan focal F et le miroir et *plus petite* que l'objet. — A mesure que l'objet se rapproche du miroir son image *grandit* et se rapproche aussi du miroir.

Quand l'objet SP est sur le miroir, son image S'P' est aussi sur la surface réfléchissante, superposée à l'objet et de même grandeur.

Quand l'objet SP devient *virtuel* et se trouve compris entre le miroir et le plan focal F, son image S'P' passe en avant du miroir, devient *réelle* et *plus grande* que l'objet. — A mesure que l'objet *virtuel* s'éloigne du miroir et se rapproche du plan focal F, son image *réelle* s'éloigne du miroir, *grandit* et marche vers l'*infini*.

Enfin, quand l'objet *virtuel* SP est sur le plan focal, son image *réelle* S'P' est infiniment éloignée en avant du miroir, et *infiniment* grande par rapport à l'objet.

Ajoutons que cette image *réelle* ou *virtuelle* est toujours *droite*, car le centre de courbure est constamment en dehors de l'intervalle qui la sépare de l'objet.

B. *L'objet virtuel* SP *est à droite du plan focal* F. — Dans ce cas l'image S'P' est toujours *virtuelle* et à droite du plan focal.

Tant que l'objet *virtuel* SP reste compris entre le plan focal F et le centre de courbure C, son image *virtuelle* est au-delà du centre C et *plus grande* que l'objet. — A mesure que l'objet se rapproche du centre C, son image se rapproche aussi du centre et *diminue*.

Quand l'objet *virtuel* SP est au centre de courbure C, son image *virtuelle* S'P' est aussi au centre C et de même grandeur que l'objet.

Enfin, quand l'objet *virtuel* SP est au delà du centre de courbure C, son image *virtuelle* S'P' est *plus petite* que l'objet et comprise entre le centre C et le plan focal F. — A mesure que l'objet *virtuel* s'éloigne du centre et marche vers l'*infini*, son image *virtuelle diminue* et se rapproche du plan focal F.

Cette image est toujours *virtuelle* et nécessairement *renversée*, car le centre de courbure C est constamment compris dans l'intervalle qui la sépare de l'objet.

Ainsi donc, en résumé :

1° Comme les foyers conjugués, un objet *réel* ou *virtuel* et son image *réelle* ou *virtuelle* se déplacent toujours *en sens contraires* le long de l'axe principal.

2° Un objet SP et son image S'P', restant toujours compris tout entiers entre l'axe principal et l'axe secondaire SS', sont nécessairement vus sous le même angle par un œil placé au centre de courbure C du miroir.

GAVARRET.

COLLÉGE DE FRANCE.

HISTOIRE NATURELLE DES CORPS ORGANISÉS.

COURS DE M. ARMAND MOREAU.

Du point de vue physiologique dans l'étude des êtres vivants (1).

Messieurs,

Une longue maladie retient encore loin de vous M. le professeur Flourens.

Il y a quelques semaines à peine que j'ai reçu l'invitation de le remplacer pendant ce semestre. Aujourd'hui il est trop tard pour me préoccuper des difficultés d'une aussi honorable mission, et je dois m'efforcer de la remplir le moins imparfaitement possible. Les travaux scientifiques de M. Flourens m'indiquent la direction d'idées dans laquelle je dois me placer.

Vous savez, messieurs, de quel éclat brillaient les sciences zoologiques lorsque Cuvier professait au Muséum, et dans cette chaire même au Collége de France. Les naturalistes faisaient d'heureux efforts pour assigner à chaque espèce sa vraie place dans les cadres, et Cuvier, qui par un admirable usage de ce qu'on a nommé le principe de la corrélation des formes, avait réussi à reconstruire avec des débris d'ossements les squelettes brisés et dispersés depuis tant de siècles, Cuvier qui avait donné une place déterminée et précise à tant d'espèces disparues, ne faisait qu'accroître le goût de tous pour ces études de classification, en montrant les nombreuses assises de l'écorce terrestre comme autant de nouveaux mondes peuplés d'une faune inconnue qu'il fallait déterminer et classer. Depuis Cuvier ce grand travail n'est pas interrompu. La paléontologie a pris une place importante dans la série des sciences naturelles. Les naturalistes déterminent et classent tous les jours de nouvelles espèces parmi ces êtres qui semblaient voués à un éternel oubli, et leur œuvre est loin d'être achevée.

C'est, messieurs, à cette brillante époque que M. Flourens

(1) Nous comptons donner à nos lecteurs la suite de ces leçons, qui se continuent, les lundi et jeudi, à une heure, au Collége de France, et traitent en particulier de la vessie natatoire des poissons et des phénomènes manifestés par les poissons électriques.

Digitized by Google

s'engageait par des expériences nombreuses, patientes, difficiles, dans un courant d'idées qui est devenu aujourd'hui le courant principal, celui dans lequel nous devons entrer sans hésitation.

Avant de préciser les questions physiologiques que nous étudierons pendant ce semestre, je crois devoir considérer d'une manière générale, forcément incomplète, quelques-uns des sujets qu'embrasse l'histoire naturelle des êtres organisés.

Comparons d'abord un être organisé et un être inorganique, cet oiseau et ce cristal.

L'oiseau, nous le savons, naît, vit et meurt, et parcourt les phases de sa vie dans un temps limité, *quelles que soient les conditions extérieures du milieu où il est placé.*

Le cristal s'est formé dans des conditions particulières, dans un milieu où les molécules qui le constituent pouvaient se réunir, il a donc commencé. Mais si les conditions dans lesquelles il s'est formé persistent, il persiste lui-même. Sa durée n'est pas limitée.

La grandeur de l'oiseau est déterminée ; elle ne dépasse pas une certaine limite. Les dimensions du cristal ne sont pas déterminées ; il grandit indéfiniment si le milieu où il se forme lui fournit indéfiniment les éléments qui le constituent.

Voici un cristal d'alun. Depuis qu'il est retiré du milieu où il s'est formé, il a cessé de s'accroître. Nous le replaçons dans ce milieu (une solution saturée d'alun); il va croître aussi longtemps que les mêmes conditions persisteront.

Ainsi l'être organisé est limité dans le temps et dans l'espace. L'être inorganique ne l'est pas. Et si nous opposons le fini, le déterminé, l'accompli (en grec un seul mot τέλειος) à ce qui est indéfini, imparfait, inachevé, nous trouverons que l'être organisé est supérieur à l'être inorganique dont la forme géométrique peut nous faire illusion.

L'oiseau, examiné dans sa constitution intérieure, offre des parties dissemblables, des organes très-variés. Et chacun de ces organes a une activité propre et travaille pour les autres organes. Une dépendance réciproque, un harmonieux concours de toutes les parties dissemblables maintiennent la forme et le caractère de l'oiseau. L'oiseau, en un mot, réalise l'unité par la variété de ses parties concourant toutes au maintien de l'ensemble.

Le cristal est formé de parties semblables entre elles ; il est homogène. Il ne possède donc pas au même titre que l'oiseau l'unité. Et si nous nous rappelons ici ce que dit Aristote, que l'*un* et l'*être* sont une même chose, το ὂν και το ἓν ταὐτον, nous dirons de cet oiseau, il est *un être*, et de ce cristal, il est seulement *de l'être*. En d'autres termes l'être organisé nous fournit la notion de l'individu. Le minéral n'offre pas d'individualité, et si ce mot est employé dans la science des minéralogistes, l'individu minéralogique n'a qu'un sens théorique. Il représente la molécule composée ou simple que les théories chimiques obligent d'admettre comme élément de la masse homogène que l'on considère, mais cette molécule n'est jamais isolée, jamais réalisée.

Je passe sous silence d'autres caractères importants relatifs à la composition chimique et au mode d'accroissement qui différencient les êtres organisés et les êtres inorganiques. Et après avoir établi toutes ces distinctions, je suis obligé de vous dire :

L'individu qui nous paraît si bien déterminé l'est-il toujours autant que nous le désirons ? En d'autres termes, tout être organisé a-t-il une individualité, une unité incontestables ? — Eh bien ! non, messieurs. Je mets sous vos yeux la figure d'un être, l'*Acanthobothrium coronatum* étudié par van Beneden, et qui appartient aux vers cestoïdes. Les principales phases de son évolution sont ici figurées et au moment où il paraît être le plus déterminé, le plus parfait, nous voyons que des parties de son corps se détachent de lui et vivent d'une vie indépendante. — A quel anneau limiter l'individu ? On ne peut le dire.

Suivez au microscope les Amybes, vous verrez leur forme se modifier à chaque instant et échapper à toute détermination, et ainsi l'individualité de l'animal devenir presque insaisissable comme sa forme.

La notion de l'individu, telle qu'elle s'applique à la généralité des êtres, ne saurait donc pas s'appliquer rigoureusement à certaines espèces animales dont le progrès de la science augmentera peut-être le nombre.

Vous savez, messieurs, que les phénomènes que révèle l'étude des corps inorganiques sont rapportés à des forces dont le jeu est soumis à des lois en partie déjà connues.

Les phénomènes qui se passent dans les êtres organisés peuvent-ils se rapporter tous aux mêmes lois ? Existe-t-il une autre force — une force vitale ? — Cette question peut être formulée encore dans les termes suivants : Si vous considérez un organisme des plus simples, une cellule vivante, dont la structure, dont la composition soient bien connues, imaginez un chimiste très-habile, prenant par un artifice quelconque les molécules d'oxygène, de carbone, d'azote, etc..... et les mettant entre elles dans les rapports de situation que ces molécules présentent dans la cellule, cet être, organisé artificiellement, présentera-t-il les phénomènes de la cellule née d'une autre cellule ? Les forces qui régiront la matière inorganique ainsi disposée vont-elles se manifester par les phénomènes ordinaires de la vie, par une évolution et par une génération ?

De quelque manière que l'on pose cette question, on ne peut y répondre scientifiquement, car une affirmation sans preuves n'a pas de caractère scientifique et l'on prévoit bien que ce chimiste habile ne se présentera pas encore de longtemps. Nous dirons volontiers avec le célèbre Virchow : c'est de la pruderie de ne pas employer le mot de force vitale, lorsqu'il abrége le discours, et que l'on est conduit dans l'étude de la vie à admettre l'existence de forces qui ne se sont jamais rencontrées en dehors de l'être vivant, et nous ajoutons qu'expliquer par la force vitale certaines manifestations capables d'être analysées, c'est expliquer *obscurum per obscurius.*

A mesure que nous allons avancer, nous verrons l'observation et l'expérience entrer plus intimement dans les questions, nous aider à les juger, et nous servir aussi par leurs résultats souvent inattendus et toujours dignes d'attention, comme pourrait le faire la plus heureuse imagination.

La génération étudiée dans les pucerons n'est pas un sujet épuisé. Je laisse à M. Balbiani le soin de développer lui-même et à son heure les suites de ses premières recherches, et je vous rappelle seulement en ce moment le beau travail où il a montré que beaucoup d'espèces dans la classe des infusoires sont douées du mode de reproduction des animaux supérieurs.

Et peut-être convient-il de dire à propos de ces questions de

Digitized by Google

génération que l'indifférence philosophique qui consiste dans un certain état de l'esprit, toujours prêt à accepter la solution que donnera l'expérience, est une bonne conseillère et n'exclut pas l'ardent amour des recherches.

L'espèce ou la série des êtres procédant les uns des autres a été étudiée devant vous dans cet amphithéâtre par M. Faivre avec une érudition et un talent que vous avez appréciés. C'est une raison pour moi de ne pas aborder, mais d'indiquer seulement en quelques mots ce sujet, l'un des plus beaux parmi ceux que comprend l'histoire naturelle des êtres organisés.

Vous savez que le développement de l'individu offre chez certaines espèces, parmi les Insectes, en particulier, des changements de forme considérables. La dissemblance qui existe entre les caractères du même individu pris à deux moments différents de son évolution est telle, que l'on ne pourrait croire que le papillon, par exemple, représente l'âge mûr de la chenille, si l'on n'avait suivi les états intermédiaires. On avait cru longtemps que la classe des insectes présentait seule des métamorphoses; mais, on en a découvert dans d'autres classes, où elles avaient échappé parce qu'on avait pris pour des espèces ou des genres distincts des animaux à divers degrés de leur évolution.

Ces métamorphoses sont donc plus communes dans la série animale qu'elles n'avaient paru l'être d'abord; leur connaissance conduit les zoologistes à modifier quelquefois les classifications, et tandis que le nombre des espèces s'accroît par les découvertes des naturalistes, des paléontologistes et des micrographes, il se restreint par le progrès que fait l'étude des métamorphoses.

Ainsi les Phyllosomes qui formaient un genre dans les crustacés stomapodes sont aujourd'hui, grâce aux travaux de M. Gerbe, confondus avec les Langoustes dont ils ne sont que l'état embryonnaire.

Dans la classe des Poissons, le genre Ammocète a disparu lorsque M. Muller a montré que l'Ammocète n'était qu'une jeune Lamproie.

La découverte des générations dites alternantes a encore dû modifier la notion de l'espèce.

Nous avons vu chez l'Insecte qui se métamorphose l'œuf donner naissance à un être qui n'arrive, qu'après les changements de forme les plus singuliers, à un état parfait, où il possède tous les caractères de l'être qui a pondu l'œuf dont il est sorti. Et c'est à cet état seulement qu'il possède des organes génitaux parfaits et qu'il se reproduit. Remarquons qu'ici la production des œufs, est la condition nécessaire de la multiplication des individus.

Au contraire, chez la Méduse, l'être qui sort de l'œuf et qui subit des transformations diverses, arrive à un certain état de son développement, ou ne ressemblant nullement à la méduse qui a formé l'œuf, il va, sans avoir d'organes génitaux, se multiplier; il se fractionne, chaque fraction grandit, se développe, et arrive à posséder tous les caractères de la méduse, et comme elle à avoir des organes génitaux et à pondre des œufs. La notion de l'espèce doit comprendre le cycle tout entier d'un œuf à l'autre.

De nombreux exemples de ce genre de reproduction ont été signalés dans les Vers cestoïdes par M. van Beneden.

Là ne s'arrête pas la difficulté, et l'on ne peut aujourd'hui sans imprudence dire nettement ce qu'il faut comprendre dans la notion de l'espèce.

Parmi les faits récents qui me semblent le plus dignes d'attention, je citerai ceux que le célèbre Leukart vient récemment de faire connaître. L'*Ascaris nigrovenosa* qui vit dans le poumon de la grenouille produit des œufs d'où sortent d'autres vers différents de l'*Ascaris* qui les a engendrés, et cependant pourvus de sexes et pondant des œufs. Mais ces vers qui diffèrent ainsi de leurs parents ne vivent pas dans le même lieu. Quelle est l'influence du milieu sur les caractères? Voilà une des questions qui se posent à propos de l'*Ascaris nigrovenosa*. L'expérience seule peut la décider.

M. Auguste Duméril, professeur au Muséum, a observé chez les Axolotls des faits qui tendraient à modifier dans le même sens la définition de l'espèce. Les Axolotls étaient jusqu'à ce jour considérés par les naturalistes comme des batraciens pérennibranches constituant le genre *Siredon*.

Des Axolotls pondirent l'année dernière dans un aquarium du Muséum d'histoire naturelle. Le développement des petits se fit d'une manière régulière, et lorsque ceux-ci eurent atteint à peu près la taille de leurs parents, les houppes branchiales disparurent ainsi que la crête membraneuse du dos et de la queue. La couleur de la peau se modifia aussi.

M. Duméril a été conduit à admettre que les Axolotls ne sont que les têtards d'un genre de Batraciens urodèles à branchies caduques. Le point qui nous intéresse est le point physiologique; c'est de voir un individu non encore arrivé à l'état parfait se reproduire par génération, et donner naissance dans le même milieu à des êtres qui ne lui ressemblent pas.

M. de Filippi avait déjà observé sur des Tritons alpestres des phénomènes analogues qui viennent battre en brèche la définition de l'espèce dans sa rigueur absolue.

Isidore-Geoffroy Saint-Hilaire, dans ses cours à la Sorbonne, avait déjà signalé que c'était à l'expérimentation qu'il fallait recourir pour voir dans quelles limites les espèces se peuvent modifier sous l'influence des milieux qui changent. Les faits nouveaux que je viens de vous citer montrent encore plus impérieusement la nécessité de recherches nouvelles. Ici comme ailleurs la parole est aux expériences qui peuvent seules jeter un jour nouveau sur les questions depuis si longtemps débattues de l'espèce.

Considérons maintenant, messieurs, les espèces animales. Les conditions dans lesquelles nous les observons nous montrent évidemment une fixité qui justifie suffisamment les classifications que vous connaissez.

La seule énumération des types principaux, malgré son intérêt, ne nous arrêtera pas.

La notion de l'animalité implique la connaissance de toute la diversité des espèces animales. — Et nous pouvons, par la pensée, nous reporter dans les belles galeries du Muséum, pour avoir une idée de la richesse de la nature.

Mais ce n'est point au point de vue zoologique que nous étudierons les espèces animales. Ces espèces ont été classées d'après leurs caractères anatomiques. La classification repose sur l'anatomie comme sur une base solide. Nous étudierons des phénomènes, des manifestations de la vie, et dans cette étude l'anatomie à chaque instant invoquée n'aura cependant pas l'importance qu'elle possède en zoologie.

Nous aurons souvent occasion de remarquer combien seraient stériles les efforts de celui qui voudrait prévoir les phénomènes physiologiques en s'appuyant sur la structure des organes. C'est l'observation directe des phénomènes qui

Digitized by Google

est le point de départ ordinaire des recherches du physiologiste, et l'anatomie est un des premiers moyens d'analyse qu'il doit employer. Si nous connaissons les propriétés d'un tissu, c'est parce que nous avons observé les phénomènes qui en dépendent. Les nerfs ont des propriétés que nous avons appris à connaître par l'observation, et aujourd'hui que nous savons quelle est la forme anatomique des nerfs sensibles et celle des nerfs moteurs, il nous est impossible de comprendre le rapport que l'expérience a démontré exister entre telle forme et telle qualité. D'où il suit que l'on ne pouvait espérer arriver par la connaissance anatomique, c'est-à-dire de la structure à la connaissance des phénomènes qui cependant l'impliquent nécessairement.

Je prends au bas de la série un animal microscopique, un infusoire que vous trouverez dans l'intestin de la Grenouille, l'*Opaline*.

Cet animal que je figure devant vous offre une simplicité d'organisation que l'imagination peut difficilement dépasser: des cellules toutes semblables entre elles remplissent une enveloppe garnie de cils vibratiles, à l'aide desquels l'animal se meut rapidement et dans tous les sens.

Voilà tout ce que nous pouvons voir.

Dans cette Opaline, tout ce qui sert à l'entretien de la vie pénètre à travers l'enveloppe et tous les organes si variés qui sont nécessaires à la nutrition des animaux supérieurs font complétement défaut.

A un moment donné, l'homogénéité de ce contenu cesse, et en un point apparaissent les germes qui doivent perpétuer l'espèce aussi bien que s'ils eussent été élaborés dans les appareils les plus compliqués de la génération.

Nous ne trouvons pas de système nerveux, et nous nous demandons si ces mouvements que nous voyons s'exécuter dans tous les sens sont volontaires comme ils le paraissent?

En d'autres termes, chez cet animal d'une structure si simple, nous voyons des manifestations vitales que nous ne pouvons rapporter avec précision à sa structure anatomique.

Élevons-nous dans la série des êtres.

Voici un insecte, le Sphex. Il a des ailes. Toutes les parties de son corps sont admirablement équilibrées; ses ailes sont mises en jeu par des muscles. Les leviers et la puissance qui leur est appliqué produisent des mouvements rapides et forts. Jusqu'ici nous voyons le rapport qui existe entre les effets et les causes prochaines, car nous construisons des machines analogues. Mais ce n'est pas tout. C'est à un moment donné que le Sphex traverse l'espace. C'est dans un but déterminé. Il poursuit un insecte et le rapporte pour servir de pâture à ses petits.

Rien là que de très-ordinaire, dira-t-on. Tous les animaux en font autant. C'est l'instinct de la conservation qui assure la continuation de la vie de l'individu et de l'espèce.

Je vous prie de remarquer que cette réponse accuse le but d'une manière très-juste, mais ne parle que du but.

La science que nous étudions avec vous cherche le moyen, le comment. Elle parle quelquefois du but, du *pourquoi*, mais jamais elle ne le donne comme explication, et confondre le but et le moyen serait une grande erreur.

La recherche des causes finales ne conduit pas à la connaissance des causes prochaines, elle est stérile, comme le dit Bacon : *Causarum finalium investigatio veluti virgo Deo sacrata nil parit.*

Voici donc chez ce Sphex des manifestations de la vie qui s'offrent à notre étude. Constatons-les d'abord par l'observation et l'expérience, comme l'ont fait MM. Léon Dufour et Fabre d'Avignon.

Le Sphex creuse dans le sol un canal. Il choisit le terrain, il choisit l'exposition; il préfère un canal coudé à un canal rectiligne, et quand il a atteint une profondeur qui garantira sa progéniture contre les ennemis et contre le froid de l'hiver, il place dans le fond ses œufs; il part, et va chercher un insecte aussi gros que lui, le perce de son dard, le rapporte au fond de son trou; par sa piqûre il a rendu sa proie immobile mais il ne l'a pas tué, il a assuré à ses larves, qui ne sont pas écloses et qu'il ne verra pas, une chair toujours fraiche et une proie qui ne se défendra pas; il n'a rien appris de ses parents, il n'apprendra rien à ses enfants et ceux-ci ne seront pas moins habiles que lui.

Nous voyons bien le but de toutes les actions de cet insecte, nous ne saurions comprendre comment elles dérivent de son organisation. Sans doute, il est des points du système nerveux dans lesquels des fonctions sont comme localisées, et le Sphex nous a lui-même indiqué un de ces points singuliers, mais il n'en est pas moins vrai que la connaissance anatomique de l'organisme ne nous révèle pas les fonctions et les actes de l'être organisé. Aussi les phénomènes doivent-ils être étudiés en eux-mêmes. Toutes les manifestations de la vie doivent être le sujet d'observations et d'expériences directes qui seront ensuite et autant que possible reliées aux notions anatomiques.

Partons donc de l'observation, et considérons l'Homme. Étudions-le comme nous ferions si nous voulions étudier les mœurs d'un Insecte inconnu, en nous délivrant de la préoccupation qui obsède l'anatomiste. — L'Homme a conscience de ce qu'il fait, il juge, il prend, il rejette les motifs de ses actions et se distingue par ce choix des animaux qui n'offrent, comparés à lui, que des traces d'intelligence; il est essentiellement perfectible. Tous les jours, il agit avec plus de puissance sur ce qui l'entoure, et mérite davantage d'être nommé le contre-maître de la nature.

Il présente par ses instincts sociaux une telle importance aux yeux du philosophe, qu'Aristote le définit ζῶον πολιτικόν. Mais il se trouve à l'étroit sur le sol que foulent les animaux. Le domaine rationnel ne lui suffit pas. Il tend vers ce qui est bien, il admet un but moral; il se sent libre d'agir. Et s'il veut expliquer sa liberté, il sent qu'elle est incompréhensible, et que l'expliquer c'est la détruire. Il cherche ce qui est beau, et dans certaines œuvres il réalise cet idéal. L'œuvre de l'artiste qui revêt ce caractère de beauté cesse à ce moment, dit Gœthe, d'être intelligible.

Enfin, le monde visible, le monde qu'il possède, il le néglige souvent, il le rejette, il le dédaigne pour un autre domaine invisible où il place ses espérances. Je parle du sentiment religieux qui me semble trop bien défini dans ce verset de l'épître aux Hébreux pour que je ne veuille vous le rappeler: *Fides est substantia rerum sperandarum, argumentum non apparentium.* (*Ad Hebræos*, c. XI, 1.)

Ainsi le sentiment religieux a rapport au domaine des choses espérées et invisibles.

En un mot, par sa raison, l'homme comprend la nature, par ses sentiments il s'élève au-dessus d'elle.

Je ne m'arrêterai pas davantage sur les caractères qui distinguent l'homme de l'animal. Nous vous avons dit tout à l'heure qu'il fallait étudier les instincts de l'insecte sans nous

Digitized by Google

trop préoccuper de son organisation. Nous en dirons autant à plus forte raison des facultés supérieures de l'homme qu'il convient d'étudier en elles-mêmes et dans tout ce qui les manifeste.

C'est au philosophe, à l'artiste, à l'historien, au penseur qu'il faut demander la connaissance des facultés de l'homme, de ses aptitudes et de ses mœurs; le physiologiste doit au moins les indiquer.

Ainsi, disons-le encore une fois, l'organisation est la base de la classification des êtres animés. Les manifestations de la vie ou les phénomènes que présentent les êtres organisés forment le terrain des recherches du physiologiste. Nous vous avons montré des questions que, dans l'état actuel de la science, il est impossible d'aborder; mais il en est de plus simples qui feront l'objet de nos études, et dans lesquelles le physiologiste peut espérer déterminer le rapport qui existe entre les conditions des phénomènes et leurs manifestations. Nous verrons des animaux, sources de chaleur, d'électricité, de lumière, et nous chercherons si les conditions de ces phénomènes, qui ont déjà été déterminés dans la nature inorganique, se rencontrent les mêmes dans l'être vivant, et si l'explication de ces manifestations ne peut pas être ramenée aux lois les plus générales de la matière. En employant les moyens que le physicien et le chimiste emploient, le physiologiste apporte dans les questions qu'il étudie la précision et la rigueur des sciences physiques et chimiques. A l'époque où nous sommes, l'observation et l'expérience n'ont pas besoin d'être recommandées. Elles apportent leur contrôle, et à mesure que la physiologie en fait un plus grand usage elle devient plus précise, et ne donne à tout ce qui reste des doctrines et des formes doctrinales des temps passés que la valeur que l'on donne à des hypothèses. — Le physiologiste, à mesure qu'il expérimente, développe en lui un sentiment qui lui fait mieux juger les questions solubles dans l'état actuel, et rejeter les spéculations chimériques.— Quel est le physiologiste qui dans ce siècle discute la question de savoir s'il y a des êtres vivants en dehors de la terre? — Cette question est du nombre de celles qui se résolvent par des arguments tirés de l'observation. Vous savez que les matières charbonnées sont le signe ordinaire d'une provenance organique.— Or, voici qu'une de ces pierres, qu'on nomme aérolithes, et dont l'origine extra-terrestre est établie, a offert des matières carbonées. Qu'un autre météore de même espèce offre un fragment de charbon avec une empreinte reconnaissable, et la question est résolue sans fatigue pour l'esprit, sans vaines et inutiles paroles.

Et si cette observation, que nous attendons avec l'indifférence philosophique la plus complète se réalise, tout un horizon nouveau apparaîtra aux yeux des naturalistes, horizon magnifique, car il sera plus étendu encore que ceux dont je vous ai parlé en commençant, lorsque Cuvier montrait chaque couche de la terre comme un monde d'êtres organisés inconnus.

Vous avez remarqué sans doute, messieurs, qu'en parlant de l'être organisé considéré comme individu et en parlant de l'espèce, nous étions arrivés à ne pouvoir conserver à ces mots de sens rigoureusement conforme aux meilleures définitions que l'on a pu donner. Il arrive, en effet, à mesure que l'on avance dans l'étude de la nature, qu'on la trouve plus variée, plus profonde et plus riche, et qu'alors l'idée que l'on s'était faite et qu'on avait formulée dans une définition se trouve incomplète et erronée.

Le même sort arrive aux mots eux-mêmes, lorsqu'ils sont formés pour représenter les objets auxquels on les applique. Les caractères que l'on croyait essentiels perdent leur valeur, et le sens du mot venant à changer n'est plus conforme à l'étymologie. Les mots *oxygène* et *azote*, le prouvent bien, comme tout le monde le sait.

Cela tient à ce que les définitions de choses réelles n'expriment que la notion que nous avons de ces choses, et comme cette notion est toujours incomplète et modifiable par les progrès que l'étude nous fait faire la définition doit varier avec elle.

Mais tout le monde sait aussi que le corps même de la science, c'est-à-dire l'ensemble de ce qui est prouvé ne fait que grandir, tandis que les définitions et les théories se succèdent comme autant de vêtements nouveaux.

La science est impersonnelle. Si le savant avance une proposition, il s'efface aussitôt et montre la preuve, c'est-à-dire l'observation et l'expérience qui soutiennent ce qu'il a avancé, et l'imposent réellement à l'esprit de l'auditeur.

Félicitons-nous de voir pénétrer tous les jours davantage dans l'étude des phénomènes de la vie ces moyens qui font progresser silencieusement les questions, et prenons quelques exemples particuliers pour donner une idée du terrain sur lequel nous nous plaçons pour étudier les phénomènes offerts par les êtres organisés.

Voici deux verres contenant une même liqueur. C'est une solution de chaux dans l'eau distillée.

On souffle à l'aide d'un soufflet dans un des verres.

On souffle directement avec la bouche munie d'un tube dans l'autre verre.

Vous voyez que la première liqueur reste limpide, et que la seconde se trouble. On prouve facilement qu'il s'est formé ici du carbonate de chaux, en raison de la quantité d'acide carbonique contenue dans l'air soufflé. L'air qui sort des poumons en contient donc beaucoup plus que l'air de cette chambre.

Et cette simple expérience nous donne une idée des analyses chimiques appliquées aux phénomènes de la vie.

Vous savez que sous l'influence directe des rayons du soleil les plantes exhalent de l'oxygène. Les plantes ont-elles le privilége de réduire l'oxygène et de le dégager des combinaisons chimiques. Les animaux montrent-ils un pouvoir analogue?

Je ferai devant vous des expériences qui vous montreront que, sous l'influence d'un nerf, on voit un organe qui a été considéré sous quelques rapports comme l'analogue du poumon, la vessie natatoire se remplir d'oxygène. Cet oxygène était-il libre, a-t-il été réduit d'une combinaison? L'expérience doit décider cette question.

Prenons un exemple d'une influence purement physique sur les phénomènes de la vie.

L'air, dont le contact avec le sang est une condition de la vie, injecté dans le sang, même en petite quantité, détermine une mort instantanée dont l'explication est toute mécanique. Voici en effet ce qui arrive : l'air non dissous est porté avec le sang veineux dans le cœur; battu par les contractions de cet organe, il forme avec le sang une mousse qui est chassée vers les poumons, et qui, ne pouvant traverser le réseau capillaire, oppose un obstacle invincible à la circulation. Il agit donc comme ferait une ligature serrée sur l'artère pulmonaire elle-même.

Les effets seront-ils les mêmes chez tous les animaux? Non.

Digitized by Google

Si nous injectons, comme je l'ai fait, de l'air dans une veine de la Grenouille, l'oreillette se dilate et prend l'aspect d'une sphère de cristal. Ses parois cessent de se contracter. Les contractions du ventricule continuent, et l'on voit la mousse avancer vers le poumon et rétrograder à chaque battement du cœur. Mais ces battements persistent. Cet état peut durer pendant des heures, et à la longue l'air absorbé peu à peu laisse la circulation se rétablir. L'animal survit : Nous voyons ici que l'organisme le plus parfait est celui qui a le moins résisté. L'homme périt par l'introduction de quelques bulles d'air dans les veines, comme on l'a malheureusement observé dans quelques opérations chirurgicales.

Je ne multiplierai pas davantage ces exemples, j'aborderai dans la prochaine leçon l'étude de la production de l'électricité chez les animaux, et nous verrons dans cette question combien les phénomènes, étudiés dans les organismes vivants, offrent de conditions à analyser. Nous verrons aussi, dans d'autres questions, qu'aujourd'hui les sujets les mieux étudiés de la physiologie laissent encore tant de lacunes que le physiologiste hésite à donner des vues d'ensemble. Le sentiment de la complexité du sujet, sentiment que révèle l'étude de la médecine, se développe chez le physiologiste en raison même des découvertes qu'il fait, et le plus illustre pourrait, je pense, dire sur la science des êtres organisés ce que Newton, dans sa vieillesse, disait en un magnifique langage, à quelqu'un qui le félicitait sur sa grande science : « Je n'ai fait que contempler les rivages de l'océan inexploré de la vérité. »

ARMAND MOREAU.

CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS.

CHIMIE AGRICOLE (1).

COURS DE M. BOUSSINGAULT
(de l'Institut).

Composition de l'urine.

Chez les oiseaux, l'urine se réunit dans un cloaque avant l'émission. La couche blanche qui recouvre leurs excréments est de l'acide urique.

Quantité d'acide urique pour 100 parties de matière.

Poule	2
Faisan (nourri avec de l'orge)	14
Faucon (» viande)	97

L'urine de serpent est aussi très-riche en acide urique. Celle que nous avons analysée avait été rendue par un des grands serpents de la ménagerie du Jardin des plantes. Une difficulté se présentait pour faire l'analyse d'une urine fraîche, c'est que les serpents n'urinent pas fréquemment, mais à des intervalles souvent éloignés de plus d'un mois. Cependant le hasard nous favorisa. L'urine de cet animal était homogène, d'un blanc jaunâtre, en pâte assez ferme pour être coupée en morceaux qui offraient quelque résistance sous le pilon. Son odeur n'avait rien d'ammoniacal ni de fétide ; la potasse en dégageait de l'ammoniaque. Au Muséum, les serpents sont alimentés avec de la chair de cheval et des lapins. Un des plus grands pythons a consommé, dans une année, 22 kilogrammes de viande en soixante et un repas.

L'analyse nous a donné, pour 100, la composition suivante :

Acide urique	46,3
Ammoniaque	0,9
Phosphates, chaux, magnésie, potasse	5,6
Graisse jaune	0,2
Matières albumineuses	1,0
Eau et perte	46,0
	100

La matière grasse a été obtenue par l'éther. On n'a pas réussi à constater la présence de l'urée.

Nous avons fait aussi l'analyse de l'urine d'herbivores.

L'urine de vache, nourrie avec du regain et des pommes de terre, et recueillie le matin, faisait une très-vive effervescence quand on y versait un acide. Elle laissait aussitôt déposer de nombreux cristaux d'acide hippurique. En y versant une solution de chlorure de calcium j'ai constaté une effervescence très-sensible due à un dégagement de gaz acide carbonique. C'est ce qui se passe quand on mêle une dissolution d'un sel neutre de chaux à un bicarbonate alcalin. On a dosé dans 1000 parties d'urine de vache :

Urée	18,48
Hippurate	16,51
Lactate de potasse	17,16
Bicarbonate de potasse	16,12
Carbonate de magnésie	4,74
Carbonate de chaux	0,55
Sulfate de potasse	3,60
Chlorure de sodium	1,52
Silice	traces
Acide phosphorique	0,00
Eau et matières indéterminées	921,32
	1000,00

Urine d'un cheval nourri avec du trèfle et de l'avoine :

Cette urine était très-alcaline et a laissé un dépôt au moment où elle est rendue, un sédiment calcaire très-abondant, et comme les derniers jets sont troubles, il est présumable qu'une partie de ce sédiment se forme déjà dans la vessie. Le dépôt calcaire a été recueilli et analysé séparément. L'urine avait une couleur jaune pâle au ; contact de l'air elle passait au brun foncé. J'ai trouvé que dans 1000 parties d'urine de cheval il y a :

Urée	31,00
Hippurate	4,74
Lactate de potasse	11,28
Lactate de soude	8,81
Bicarbonate de potasse	15,50
Carbonate de magnésie	4,16
Carbonate de chaux	10,82
Sulfate de potasse	1,18
Chlorure de sodium	0,74
Silice	1,01
Acide phosphorique	0,00
Eau et matières indéterminées	910,76
	1000,00

Il faut remarquer que dans l'urine des herbivores l'acide carbonique constitue avec les alcalis un bicarbonate.

Du lait; sa composition et ses propriétés.

Parmi les fluides sécrétés, le lait diffère de tous les autres par sa destination physiologique : il sert à l'alimentation de

(1) Voy. les numéros 1, 2, 6, 8 11, 15, 21, 22, 23 et 25.

Digitized by Google

toute une classe d'animaux vertébrés dans le premier âge de la vie.

Les *mamelles*, organes destinés à la sécrétion du lait, appartiennent généralement à la classe des glandes composées en forme de grappe, et sont constituées par des lobules et des canaux ramifiés que terminent des vésicules.

Le lait est un liquide d'un blanc opalin, plus ou moins opaque ; sa saveur est douce est sucrée. Si l'on observe une goutte de lait au microscope, on aperçoit des globules graisseux nageant dans un liquide : ce sont ces globules qui, soudés entre eux, constituent le beurre. Le lait, dont la densité varie de 1,028 à 1,045, est formé d'eau, de caséine, d'albumine, de lactose, de sels et de matière grasse ; les proportions de ces principes varient non-seulement d'espèce à espèce et d'individu à individu, mais encore la même femelle ne donne pas un produit constant. Abandonné au repos pendant quinze heures environ à la température de 12 degrés, le lait se partage en deux couches distinctes : l'une, supérieure, que l'on nomme la *crème;* l'autre, inférieure, est le *lait écrémé*. La première est formée par la réunion des globules butyreux qui se sont rassemblés à la surface du liquide. Ce phénomène de séparation est dû à la production spontanée d'une certaine quantité d'*acide lactique;* cet acide sature la soude qui paraît servir de dissolvant à la caséine, et celle-ci, devenue libre, se précipite. L'acide lactique est le résultat de la fermentation qu'éprouve le sucre de lait sous l'influence de la caséine et de l'albumine elle-même.

Enfin, le lait, abandonné longtemps à l'air, subit la fermentation vineuse et dégage de l'acide carbonique et de l'alcool ; si l'action de l'air se prolonge indéfiniment la fermentation acétique a lieu.

Les acides, l'alcool, le tannin, la plupart des sels métalliques et les acides provenant de certaines plantes ont la propriété de coaguler le lait. Cependant aucun de ces corps n'agit comme la *présure*, substance extraite de la caillette d'un veau qui n'a reçu que du lait pour nourriture.

Pour faire l'analyse du lait on en prend un certain poids connu, que l'on met dans une capsule de platine tarée à l'avance ; on place le lait dans une étuve dont la température est de 100 degrés. Au bout d'un certain temps, l'eau s'est évaporé du lait, et l'on ne trouve plus, dans la capsule, qu'une matière desséchée ; on pèse et par différence on peut connaître la quantité d'eau que renfermait ce lait. On traite la matière qui reste dans la capsule par l'éther jusqu'à ce que toute la matière grasse soit dissoute ; on recueille le résidu que l'on sèche à l'étuve en ayant soin que la température soit constante. Ce résidu contient la caséine, l'albumine et le sucre de lait ; par différence on a le poids des matières grasses. Le résidu composé des matières azotées et du sucre de lait est traité par l'eau ; on le laisse d'abord s'imbiber, on porte à l'ébullition et on laisse refroidir le liquide avant de filtrer. L'eau dissout le sucre de lait ; le caséum et l'albumine coagulés sont recueillis sur un filtre, lavés, puis desséchés et pesés ; on obtient encore par différence le poids du sucre qui a été dissous. Pour déterminer la quantité de sels contenus dans le lait, on place simplement sur la flamme d'une lampe à alcool la capsule de platine dans laquelle on a fait évaporer un poids connu de lait, et on laisse la calcination se faire spontanément à l'air libre.

Par ce moyen on a fait un grand nombre d'analyses de différents laits, analyses dont voici le résumé exprimé par des moyennes :

	Caséine et albumine.	Beurre.	Sucre de lait.	Phosphate de chaux.	Eau.
Vache	4,0	4,0	4,8	0,6	86,6
Anesse	1,9	1,0	6,4	0,4	90,3
Jument	3,3	1,0	4,3	0,5	90,9
Chèvre	6,0	4,2	4,4	0,5	84,9
Brebis	4,5	4,2	5,0	0,7	86,5
Chienne	15,8	5,1	4,1	1,0	77,9
Femme	3,9	2,6	4,3	0,1	88,9

Les principes constitutifs du lait proviennent les uns du sang : l'albumine et les sels ; les autres, tels que la caséine, le beurre et le sucre de lait paraissent être formés par la glande mammaire elle-même. L'identité de composition, que nous offrent les différents laits, fait comprendre comment il se fait qu'un animal peut vivre du lait d'un animal d'une autre espèce : que le lait de vache, par exemple, peut élever un poulain, et que celui-ci arrive à son complet développement. On rapporte ainsi l'histoire d'une chatte, qui privée de ses petits, avait continué de nourrir de petits rats dont elle avait sans doute dévoré la mère. Tout alla bien jusqu'à ce que ces petits animaux fussent développés, mais alors de bonne mère elle devint bonne chatte et dévora ses enfants d'adoption. Le fait à constater ici, c'est que le lait d'une chatte avait pu nourrir d'autres animaux.

Avant le part, et plusieurs jours après, le lait a des propriétés particulières et porte le nom de *colostrum*. Le colostrum se coagule par la chaleur ; se putréfie facilement et ne s'acidifie jamais ; il contient des traînées de sang et des globules muriformes composés d'un agrégat de granules muqueux et de globules graisseux.

Traité par l'ammoniaque, il devient filant et quelquefois se prend en une gelée.

Analyse du colostrum de vache, par MM. Boussingault et Lebel.

Eau	78,5
Albumine et matière muqueuse	15,0
Beurre	2,6
Sucre de lait	3,6
Cendre	0,3
	100,0

On voit donc par l'analyse précédente, que la différence qui existe entre le lait normal et le colostrum consiste en ce que ce dernier ne renferme pas de caséine, mais une substance qui ressemble à de l'albumine et à une matière muqueuse.

Il y a plusieurs procédés pour amener le lait à l'état de conserve et le rendre apte à résister aux longs voyages maritimes. Il y a un procédé qui consiste à ajouter 75 grammes de sucre par litre de lait et à l'évaporer jusqu'à consistance de miel. On enferme ce lait dans des boîtes de fer-blanc que l'on introduit pendant 10 minutes dans un bain d'eau bouillante ;

Digitized by Google

on soude les boîtes et le lait se conserve indéfiniment. Pour le revivifier on ajoute quatre fois son propre poids d'eau et l'on fait bouillir le mélange. On peut encore conserver le lait et la crème en condensant dans ces liquides, que l'on a précédemment fait bouillir, plusieurs volumes d'acide carbonique. Enfin on peut conserver le lait naturel avec ses qualités, sans le concentrer et sans rien y ajouter. On remplit de lait des bouteilles métalliques terminées par un tube de plomb ou d'étain ; on les chauffe avec de la vapeur jusqu'à 80 degrés puis on le laisse refroidir. Le tube qui termine ces bouteilles communique avec un réservoir dans lequel l'excédant du contenu des bouteilles vient se déverser lorsque la chaleur détermine la dilatation du lait. On entretient la température de 80 degrés pendant une heure, afin que tout l'air dissous dans le lait ou interposé mécaniquement se dégage complétement. On a soin de recouvrir le lait du réservoir d'une mince couche d'huile qui permet à l'air de sortir et l'empêcher de rentrer. On laisse refroidir le lait jusqu'à 20 degrés, on comprime le tube au-dessus de l'étranglement, on le coupe et on le soude à l'étain.

Nous devons ici dire quelques mots des adultérations du lait.

Presque tout le lait qni se débite dans les marchés publics est frelaté : il contient moins de crème et plus d'eau que le lait normal. On a trouvé du lait falsifié par une petite quantité de borax qui en prévient la fermentation, le maintient à l'état d'émulsion, et le rend plus semblable à la crème. Pour découvrir cette fraude on fait évaporer à siccité le lait soupçonné, on brûle le résidu sur une lampe à esprit-de-vin, et l'on ajoute aux cendres de l'alcool additionné d'acide sulfurique ; on met le feu au liquide : si la flamme est verdâtre le lait contient du borax. On a encore falsifié le lait avec de l'argile ; pour constater la présence de ce corps, il suffit de calciner une certaine quantité de lait : dans ce cas, il reste 5 pour 100 de matière terreuse.

Si l'on compare la composition chimique du lait à celle du fourrage on voit que ces deux produits renferment les mêmes éléments. Il faut ajouter que dans le fourrage on rencontre du ligneux tandis qu'on n'en trouve pas dans le lait, qui est un aliment destiné aux animaux dont l'appareil digestif n'est pas encore développé et rendu apte à digérer les matériaux que fournit le règne végétal.

On a cherché à connaître l'accroissement d'un animal soumis à l'allaitement :

Veau pesant à la naissance 42 kilogrammes et consommant par jour 10 litres de lait a augmenté par 24 heures :

	kilogr.
1re série d'expériences.....	1
2e — —	1,17
3e — —	1,08
4e — —	0,98

La moyenne a été de 1kil,03. Une autre expérience faite en Suisse a donné pour moyenne 1kil,24.

Les 10 litres de lait pesaient 10300 grammes et contenaient :

Caséum et phosphate de chaux.	412	Aliments plastiques.
Beurre.....	453	Aliment plast. et respiratoire.
Sucre de lait.....	453	Aliment combustible.
	1319	Aliments secs.

Un poulain à sa naissance pesait 51 kilogr. après 87 jours d'allaitement il pesait 141kil,7, ce qui faisait un accroissement total de 90kil,7 et un accroissement par jour de 1kil,04.

Dans un but d'économie on ne donne pas au veau tout le lait fourni par une vache dans une journée. Ainsi, un agriculteur a voulu élever des veaux en supprimant le lait et en leur donnant une infusion de foin qui se préparait à la manière du thé. Il constata qu'un mélange de lait et de cette infusion réussissait. Il fit alors construire un appareil pour faire de cette liqueur en grande quantité ; mais il arriva que, pour lui faire tort, on fit courir le bruit que ses veaux étaient malades et qu'il leur faisait de la tisane. Le boucher ne voulut pas acheter les veaux ; quant à moi je puis affirmer que des veaux malades digèrent plus facilement le thé de foin que le lait.

En France on abat 2 millions de veaux à l'âge d'un mois, pesant en moyenne 50 kilogr. Ce qui fait en poids vivant 100 millions de kilogr. A l'âge de deux mois un veau pesant 80 kilogr., on aurait 160 millions de kilogr. En comparant ce que rapporte le prix du veau au prix du lait qu'il a bu, on trouve qu'il est plus avantageux dans une ferme de vendre le lait.

Henri Amaury.

BULLETIN DES COURS.

Muséum d'histoire naturelle.

Chimie appliquée aux corps organiques. — M. Chevreul (de l'Institut), professeur, a ouvert ce cours le mardi 22 mai, à neuf heures trois quarts du matin, dans le grand amphithéâtre du Muséum, et le continue les mardis, jeudis et samedis suivants à la même heure. Le professeur examinera la composition chimique immédiate et médiate des êtres vivants, avec les détails convenables pour traiter, dans le cours de l'année prochaine, des applications des sciences physico-chimiques : 1° à l'agriculture ; 2° à la médecine ; 3° à l'hygiène des villes. Il insistera sur le degré de certitude de chacun des éléments des connaissances actuelles auxquels il faut avoir égard pour traiter des questions si difficiles qui sont relatives aux êtres vivants.

Chimie appliquée aux corps inorganiques. — M. Fremy (de l'Institut), professeur, a commencé ce cours le mardi 1er mai 1866, à deux heures, et le continue, depuis cette époque, les mardis, jeudis et samedis suivants à la même heure. Dans cette partie du cours, le professeur développe les grandes découvertes chimiques, et traite de leurs applications aux sciences naturelles. Cet enseignement est à la fois théorique et pratique ; il se compose de leçons et de manipulations chimiques. Les auditeurs qui voudront faire une étude approfondie de la chimie trouveront au Muséum d'histoire naturelle un laboratoire dans lequel ils pourront gratuitement s'exercer aux manipulations chimiques, sous la direction des professeurs de chimie.

AVIS.

Les abonnés dont l'époque de renouvellement échoit à la fin de mai, et qui désirent à cette occasion changer les conditions de leur souscription et profiter des avantages que leur présente, soit l'abonnement d'un an, s'ils ne sont abonnés qu'au semestre, soit la souscription aux deux *Revues des cours scientifiques* et *littéraires*, sont priés d'avertir immédiatement M. Germer Baillière, en lui envoyant un mandat sur la poste ou des timbres-poste.

Les abonnés qui, d'ici à la fin de mai, n'auront fait parvenir aucun avis au bureau de la *Revue*, seront considérés comme désirant continuer leur abonnement dans les mêmes conditions. En conséquence, ils recevront par l'entremise des porteurs, soit à Paris, soit dans les départements, une quittance analogue à celle qui leur a été déjà remise lors de leur première souscription.

Le propriétaire-gérant : Germer Baillière.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE NUMÉRO 27 2 JUIN 1866

CONFÉRENCES SCIENTIFIQUES DE HEIDELBERG.

M. H. HELMHOLTZ.

La glace et les glaciers.

Le monde de la glace et de la neige éternelle tel qu'il se déroule sur les cimes des Alpes voisines exerce un charme tout particulier, quelque désert, quelque isolé, quelque dangereux qu'il soit. Non-seulement il fixe l'attention du naturaliste (1) qui vient y puiser les renseignements les plus merveilleux pour l'histoire actuelle et passée du globe terrestre, il attire aussi chaque année, pendant la belle saison, des milliers de touristes de toutes les classes de la société, qui viennent y rafraîchir l'esprit et le corps. Les uns se contentent d'admirer de loin la parure éblouissante que prêtent au paysage les flots de lumière pure des cimes neigeuses qui se dessinent entre le fond bleu du ciel et la fraîche verdure des prés ; d'autres, au contraire, pleins d'audace, pénètrent dans ce monde étrange, s'exposant volontairement aux plus grandes fatigues et aux plus terribles dangers pour aller jouir de son aspect grandiose.

Je n'essayerai pas, ce qu'on a si souvent essayé en vain, de vous peindre par des mots la beauté de cette nature majestueuse dont l'aspect ravissant étonne le touriste des Alpes. Il me sera bien permis de supposer que la plupart d'entre vous la connaissent pour l'avoir admirée de leurs propres yeux ou se proposent de l'admirer plus tard. Mais je pense que le plaisir et l'intérêt que vous aurez trouvés à admirer ces scènes grandioses ne peuvent que vous disposer d'autant mieux à prêter une oreille attentive à l'exposition des principaux phénomènes que la science moderne a observés dans le monde de la glace. Là nous voyons de petites particularités de la glace, qu'en d'autres circonstances on aurait pu considérer comme des subtilités scientifiques, apparaître comme les causes des phénomènes les plus importants des glaciers; des blocs de rochers informes racontent leur histoire à l'observateur attentif, histoire qui souvent remonte bien au delà du passé du genre humain pour se perdre dans les ténèbres des premiers âges; on constate l'action calme, régulière et bienfaisante de forces naturelles prodigieuses là où, au premier abord, on n'aperçoit que des déserts, qui s'étendent à perte de vue dans une solitude inculte et désolée ou qui semblent être le champ de bataille où des forces destructrices se heurtent au milieu d'une confusion terrible et menaçante.

C'est dans ce sens que je crois pouvoir vous promettre que l'étude de l'ensemble de ces phénomènes, dont je ne puis dans tous les cas vous donner aujourd'hui qu'un aperçu rapide, ne sera pas simplement pour vous un enseignement prosaïque, mais qu'elle rendra plus vif le plaisir que vous trouvez aux scènes grandioses des montagnes, en augmentant l'intérêt qu'elles ont pour vous et l'admiration qu'elles font naître dans votre esprit.

Permettez-moi de commencer par vous rappeler les traits principaux de l'aspect des champs de neige et des glaciers des montagnes élevées et de les compléter en y ajoutant ce que nous ont appris les mesures exactes ; je passerai ensuite à l'explication de l'ensemble des causes de tous ces phénomènes.

Plus nous nous élevons sur les flancs des montagnes, plus il fait froid. Notre atmosphère est étendue sur la terre comme une couverture chaude; elle est à peu près complétement transparente pour les rayons calorifiques lumineux du soleil, elle les laisse arriver à nous sans leur opposer une résistance appréciable. Mais elle ne laisse pas passer également bien les rayons calorifiques obscurs qui, rayonnés par les corps terrestres échauffés, tendent à se perdre dans les espaces célestes. Ces rayons obscurs, l'air atmosphérique les absorbe, surtout lorsqu'il est humide; de cette manière, la masse d'air s'échauffe elle-même et ne cède que très-lentement sa chaleur acquise aux espaces célestes. La perte de chaleur est donc ralentie proportionnellement à l'absorption, et il s'accumule ainsi une certaine provision de chaleur à la surface de la terre. Sur les hautes montagnes, la couverture protectrice de l'atmosphère est beaucoup plus mince ; là la chaleur rayonnée par la surface de la terre peut s'échapper bien plus rapidement vers les espaces célestes, là donc, la provision de chaleur est plus petite et par suite la température plus basse que sur la plaine.

A cette cause il faut ajouter une autre propriété de l'air qui agit dans le même sens. Lorsqu'une masse d'air se dilate, elle perd une partie de sa chaleur, elle se refroidit si elle ne peut recevoir du dehors une nouvelle quantité de chaleur. Réciproquement quand l'air se comprime, il reproduit la quantité de chaleur qui a disparu pendant la dilatation. Par exemple, lorsque les vents du sud poussent vers le nord l'air chaud de la Méditerranée et le forcent à monter au haut de la grande chaîne des Alpes où, comme le fait prévoir la faible pression indiquée par le baromètre, il se dilate en doublant à peu près de volume, il s'y refroidit d'une manière très-considérable — de 16 à 25 degrés

(1) Nous rappelons que nous donnons aux mots *naturaliste* et *science naturelle* la signification des mots allemands *Naturforscher* et *Naturwissenschaft*. Par *Naturwissenschaft* on entend toutes les sciences qui s'occupent de l'étude de la nature, et l'on donne le nom de *Naturforscher* à tout savant qui étudie l'une de ces sciences.

Digitized by Google

Réaumur pour une hauteur moyenne de 11 000 pieds selon le degré d'humidité de l'air. — En même temps l'air dépose une grande partie de son humidité à l'état de pluie ou de neige. Ce même air descendant ensuite sur le versant nord des Alpes, dans les vallées et dans les plaines, se condense de nouveau et se réchauffe en donnant naissance au vent connu en Suisse sous le nom de *Foehn*. Ainsi le même courant d'air, qui est chaud des deux côtés de la montagne, est excessivement froid sur les hauteurs et peut y déposer de la neige pendant que dans la plaine nous le trouvons insupportablement chaud.

L'abaissement de la température sur les hauteurs produit par ces deux causes est déjà très-appréciable sur les montagnes moins élevées qui nous entourent; dans l'Europe centrale la température baisse à peu près de 1 degré Réaumur pour une hauteur de 600 pieds; en hiver cette variation est moindre, d'environ 1 degré pour 900 pieds. Dans les Alpes où les hauteurs sont plus considérables, on trouve des différences de température beaucoup plus grandes, de sorte que sur les parties supérieures de leurs sommets et de leurs flancs, la neige tombée en hiver ne fond plus en été. On sait que la ligne au-dessus de laquelle la neige couvre le sol pendant toute l'année s'appelle *la limite des neiges perpétuelles*; sur le flanc nord des Alpes elle est à une hauteur d'environ 8000 pieds, sur le flanc sud à une hauteur de 8800 pieds. Au delà de la limite des neiges, il peut quelquefois faire très-chaud par de belles journées de soleil. Il est même à remarquer que la radiation du soleil que rien n'affaiblit, et que vient encore augmenter la lumière réfléchie par la neige, devient souvent complétement insupportable, de sorte que le touriste habitant des villes a souvent le visage et les mains brûlés par le soleil, sa peau se gonfle et de grandes ampoules se produisent à sa surface; il faut toujours, si l'on ne veut être ébloui, avoir soin de se protéger les yeux à l'aide d'un voile ou de lunettes très-foncées. Des preuves plus gracieuses de l'intensité des rayons solaires sont les couleurs vigoureuses et le parfum intense des petites fleurs des Alpes qui, — abritées dans des fentes de rochers, — fleurissent au milieu des champs de neige. Malgré l'intensité du rayonnement du soleil la température ne s'élève qu'à 5 degrés, au plus à 8 degrés Réaumur, au-dessus des champs de neige; elle est suffisante cependant pour fondre une partie considérable des couches de neige superficielles. Mais les heures et les jours de chaleur sont trop courts et trop rares pour venir à bout des grandes masses de neige tombées pendant les saisons froides. La hauteur de la limite des neiges ne dépend donc pas uniquement de la température des flancs de la montagne, la masse de neige qui tombe chaque année exerce ici une grande influence. Ainsi, par exemple, sur le versant sud de l'Himalaya, chaud mais humide, cette ligne est plus basse que sur le versant nord, plus froid, mais aussi plus sec. Par suite du climat humide de l'Europe occidentale, la neige tombe en grande abondance sur les Alpes, ce qui explique le nombre et l'étendue de leurs glaciers; sous ce rapport fort peu de montagnes peuvent rivaliser avec les Alpes. Nous ne trouvons le monde de la glace dans d'aussi grandes proportions que sur la chaîne de l'Himalaya sous l'influence de plus grandes hauteurs, dans le Groënland et dans les parties du nord de la Norvége où le climat est plus froid, ou sur quelques îles où l'humidité est plus grande.

Les lieux situés au-dessus de la limite des neiges sont donc caractérisés par ce fait, que la neige qui est tombée sur le sol dans le courant de l'année, ne fond pas complétement pendant l'été, mais persiste en partie. Cette neige, que n'a pu fondre le premier été, est désormais protégée contre l'influence de la chaleur solaire, parce que l'automne, l'hiver et le printemps répandent sur elle de nouvelles couches de neige. De cette nouvelle neige l'été prochain laissera subsister une partie, et ainsi une année à la suite de l'autre vient superposer de nouvelles couches de neige aux anciennes. Lorsqu'une telle accumulation de neige se termine au bord d'un précipice, il est facile de reconnaître les couches nouvelles régulièrement superposées.

Mais il est clair que cette accumulation de neige, cette superposition d'une couche sur l'autre ne peut ainsi continuer à l'infini, sans cela la hauteur des pics couverts de neige grandirait d'année en année. Mais plus la neige s'accumule, plus ses bords deviennent escarpés, plus aussi le poids qui presse sur les couches anciennes et qui tend à les déplacer devient considérable. Il doit nécessairement arriver un moment où la pente devient trop escarpée pour qu'une nouvelle couche de neige puisse y adhérer, et où la charge qui pousse les couches inférieures à descendre devient trop grande pour que celles-ci puissent rester dans la position qu'elles occupent sur le flanc de la montagne. De cette manière, une partie de la neige qui est primitivement tombée sur les parties élevées de la montagne, au-dessus de la limite des neiges, sera forcée de quitter sa position première et de chercher une nouvelle place, que naturellement elle ne pourra trouver qu'au-dessous de la limite des neiges, sur les parties inférieures du flanc de la montagne, surtout dans les vallées. Mais là, soumise à l'influence d'un air plus chaud, elle fond peu à peu et s'écoule à l'état d'eau. La descente de ces masses de neige du haut de leur position primitive se fait tantôt brusquement sous forme d'avalanches, mais le plus souvent d'une manière lente par les glaciers.

D'après ce qui précède, nous avons donc à examiner successivement deux espèces différentes de champs de glace, savoir: en premier lieu, la neige tombée primitivement, appelée *Firn* dans la Suisse allemande et *névé* dans la Suisse française, qui se trouve au-dessus de la limite des neiges, qui couvre les flancs des pics aussi longtemps qu'elle peut y rester collée et qui remplit les parties supérieures des vallées en y formant de vastes champs de neige appelés *Firnmeer*. En second lieu, nous trouvons les glaciers appelés *Firner* en Tyrol, qui sont les prolongements des champs de neige, et qui descendent souvent de 4000 à 5000 pieds au-dessous de la ligne des neiges et dans lesquels le névé des champs de neige se retrouve transformé en glace solide et transparente. De là les noms de *Gletscher* en allemand, de *glace* et *glaciers* en français, dérivés du mot latin *glacies*.

L'aspect extérieur des glaciers est très-bien caractérisé par le nom de fleuves de glace que Gœthe leur a déjà donné. Ordinairement ils descendent des champs de neige en suivant les vallées qu'ils remplissent alors dans toute leur largeur et à des hauteurs souvent considérables. Dans cette marche, les glaciers suivent toutes les sinuosités, toutes les courbures, tous les rétrécissements et tous les élargissements de la vallée. Souvent deux glaciers dont les vallées se réunissent viennent se rencontrer. Les deux fleuves de glace s'unissent alors en un seul fleuve principal qui remplit la vallée commune. En certains endroits ces fleuves de glace pré-

Digitized by Google

sentent une surface assez plane et unie, le plus souvent leur surface est sillonnée de fentes, et sur la surface comme dans les fentes coulent d'innombrables filets d'eau plus ou moins considérables, qui transportent au loin l'eau provenant de la fonte de la glace. Tous ces filets se réunissent en un ruisseau qui, dans les grands glaciers, s'échappe à la partie inférieure par une voûte magnifique de glace bleue.

A la surface de la glace se trouve ordinairement une grande quantité de blocs de pierres et de débris de roches, qui, sur les côtés et à l'extrémité inférieure du glacier, s'élèvent en masses puissantes qu'on appelle les moraines latérales et les moraines frontales ou terminales des glaciers. D'autres amas de pierres, les moraines médianes ou centrales, s'étendent en lignes sombres, longues et régulières, sur la surface des glaciers dans le sens de leur longueur. Elles partent toujours des points de rencontre de deux fleuves de glace. Les moraines centrales sont dans ce cas la continuation des moraines latérales des deux glaciers.

Fig. 152. — Glacier d'Unteraar avec sa moraine centrale.

La formation des moraines centrales se voit très-bien dans la figure 152 qui représente le glacier d'Unteraar. Dans le fond on voit sortir les deux glaciers de leurs vallées respectives, à droite celui du Schreckhorn, à gauche celui du Finsteraarhorn. A partir de leur point de réunion on voit ce rempart de pierre qui occupe le milieu de la figure descendre comme moraine centrale. A gauche on voit quelques gros blocs de pierre portés sur des piliers de glace ; c'est ce qu'on appelle les tables des glaciers.

Pour vous mettre à même de juger de l'ensemble de ces phénomènes sur un théâtre plus vaste, je mets sous vos yeux (fig. 153) une carte de la Mer de glace de Chamonix, faite d'après celle de M. Forbes.

On sait que la Mer de glace est, quant à sa masse, le plus grand des glaciers de la Suisse, bien que sous le rapport de la longueur elle le cède au glacier d'Aletsch. Elle est alimentée par les champs de neige des montagnes situées un peu au nord du mont Blanc et dont plusieurs comme la grande Iorasse, l'aiguille Verte (*a* figures 153 et 154), l'aiguille du Géant (*b*), l'aiguille du Midi (*c*) et l'aiguille du Dru (*d*) ne sont inférieures que de 2 000 à 3 000 pieds à ce roi des montagnes de l'Europe. Les champs de neige qui s'étendent sur les flancs de ces montagnes et dans les vallées se réunissent en trois fleuves principaux : le glacier du Géant, le glacier du Léchaud et le glacier du Talèfre qui se réunissent finalement comme l'indique la carte et forment ainsi la Mer de glace, fleuve de glace de 2 600 à 3 000 pieds de large qui descend dans la vallée de Chamonix ; à sa partie inférieure, en *k*, sort un grand ruisseau, l'Arveyron, qui va se jeter dans l'Arve. La chute inférieure de la Mer de glace, visible depuis la vallée de Chamonix et qui forme une gigantesque cascade de glace, est ordinairement désignée sous le nom de glacier des Bois, du nom d'un petit village situé au-dessous.

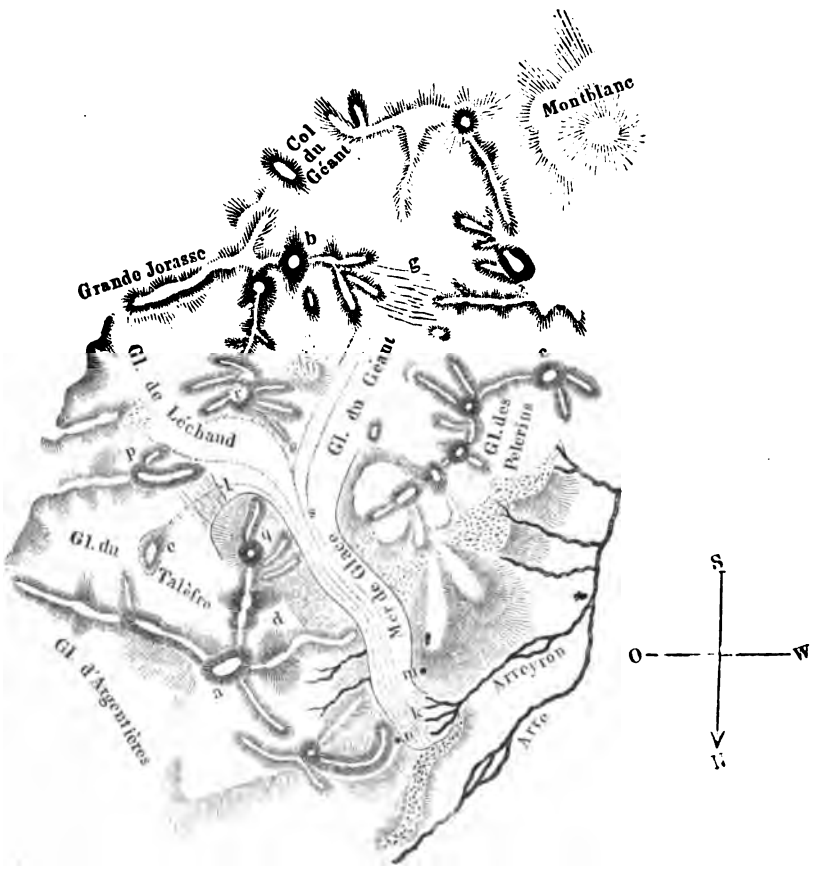


Fig. 153. — Carte de la Mer de glace de Chamonix.

La plupart des visiteurs de Chamonix ne montent que sur la partie inférieure de la Mer de glace, à partir de l'auberge du Montanvers (*m* fig. 153) et, s'ils ne craignent pas le vertige, traversent le glacier en cet endroit pour gagner la petite maison du Chapeau placée vis-à-vis en *n*. Quoique, comme la carte l'indique, on ne puisse voir et qu'on ne traverse ainsi qu'une partie comparativement très-petite du glacier, ce chemin suffit pour

Digitized by Google

faire connaître les scènes grandioses et les difficultés d'une excursion sur les glaciers. Des touristes plus audacieux remontent le glacier jusqu'au Jardin (*e*), roche couverte d'un peu de végétation, qui divise en deux bras le fleuve de glace du glacier du Talèfre; d'autres plus courageux encore vont jusqu'au col du Géant (11 000 pieds au-dessus de la surface de la mer), pour descendre du côté de l'Italie dans la vallée d'Aoste.

La surface de la Mer de glace nous montre quatre de ces remparts de pierres désignés sous le nom de moraines centrales. La première, à l'est du glacier, prend naissance à la partie inférieure du Jardin, au point de réunion des deux bras du glacier du Talèfre; la seconde provient de la réunion de ce glacier avec le glacier de Léchaud, la troisième, de la réunion de ces divers glaciers avec le glacier du Géant et enfin la quatrième d'un banc de rochers qui descend de l'aiguille du Géant vers la cascade (*g*) du glacier du Géant.

Pour vous donner une idée de l'élévation et de la pente du glacier, j'ai tracé (fig. 154) une coupe longitudinale d'après les nivellements et les mesures de M. Forbes, avec la vue de la rive droite du glacier. Les lettres désignent les mêmes objets que dans la figure 153; *p* est l'aiguille du Léchaud, *q* l'aiguille Noire, *r* le mont Tacul, *f* est le col du Géant, le point le plus bas de la haute muraille de rochers qui entoure le bord supérieur des champs de neige qui alimentent la Mer de glace. La base du dessin correspond à 2 milles allemands; à l'extrémité droite, les hauteurs au-dessus du niveau de la mer sont indiquées en pieds anglais. La figure montre très-bien combien la pente du glacier est petite dans la plupart des endroits. Quant à sa profondeur on ne peut guère que l'apprécier approximativement, car on n'a malheureusement aucune donnée certaine. On peut seulement dire qu'elle est très-profonde ainsi que cela résulte de quelques rares observations accidentelles que je vais signaler.

Sur le Tacul, le bord du glacier du Géant forme, à l'extrémité d'un rocher taillé à pic, une muraille de glace s'élevant verticalement à une hauteur de 140 pieds. Cette hauteur indique la profondeur que doit avoir sur son bord l'un des bras supérieurs du glacier. Au centre et après la réunion des glaciers la profondeur doit être beaucoup plus grande. Un peu au-dessous du point où se réunissent les trois glaciers, MM. Tyndall et Hint sondèrent la profondeur d'un moulin, c'est-à-dire d'une de ces cavités par lesquelles les eaux de la surface des glaciers descendent jusqu'au fond: ils trouvèrent 160 pieds de profondeur et leurs guides affirmèrent à cette occasion qu'ils avaient sondé une fois dans un pareil trou 350 pieds de profondeur, mais jamais on n'a atteint le sol du glacier. En considérant d'ailleurs le sol ordinairement crevassé et plein d'excavations des vallées formées par des rochers à pic, il paraît invraisemblable que, pour une largeur de 3000 pieds, la profondeur moyenne ne soit que de 350 pieds; la manière même dont les glaciers se meuvent fait supposer que sous la partie crevassée se trouve une couche très-puissante et bien adhérente.

Pour vous faire mieux apprécier les grandeurs relatives de la Mer de glace, je vais prendre un exemple qui vous est plus commun: Figurez-vous la vallée de Heidelberg remplie de glace jusqu'à la Molkenkur ou plus haut, de manière que la ville entière avec ses tours et son château soit enterrée dans la glace s'élevant graduellement depuis l'ouverture de la vallée jusqu'à Neckargemünd; tout cela correspondrait à peu près au fleuve unique de la partie inférieure de la Mer de glace.

Ou bien encore, imaginez qu'à la place du Rhin et de la Nahe, près de Bingen, se réunissent deux fleuves de glace remplissant la vallée du Rhin jusqu'à son bord supérieur, aussi haut que le regard peut s'élever; le fleuve unique formé par leur réunion descendrait vers Asmannshausen et Burg-Rheinstein. Un pareil fleuve de glace aurait aussi à peu près les dimensions de la Mer de glace.

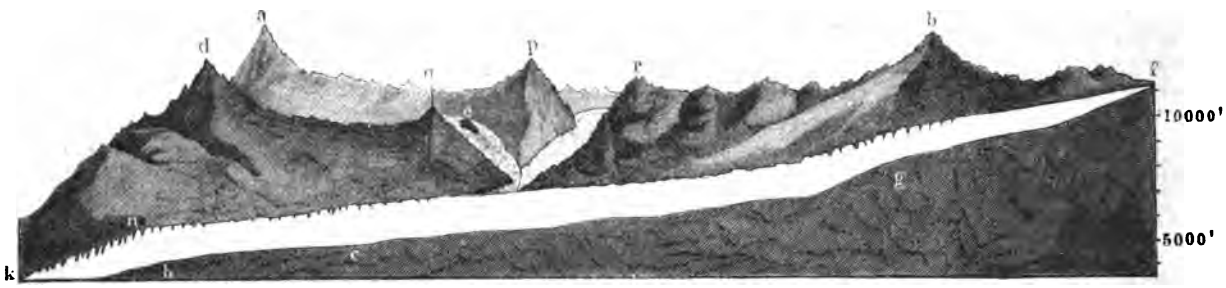


FIG. 154. — Coupe longitudinale de la Mer de glace de Chamonix.

La (fig. 155) nous montre la puissance des masses de glace qui forment les grands glaciers; elle représente la partie inférieure du gigantesque glacier de *Gorner*, près de Zermatt.

La surface de la plupart des glaciers est plus ou moins salie par du sable et par une foule de petites pierres qui se rapprochent à mesure que la glace qui se trouve autour d'elles et au-dessous d'elles disparaît en fondant. A la surface la fusion a rendu friable la glace qu'elle n'a pas détruite. Mais au fond des crevasses on aperçoit de la glace d'une pureté et d'une clarté dont la glace que nous voyons dans nos plaines ne peut pas nous donner la moindre idée. Par suite de sa grande pureté elle paraît d'un bleu magnifique, à peine un petit peu plus verdâtre que le bleu du ciel. Les crevasses dans lesquelles on peut admirer la glace de l'intérieur présentent toutes les dimensions. Elles naissent à l'état de simples fentes dans lesquelles on peut à peine introduire la lame d'un couteau: elles s'élargissent peu à peu pour former finalement des gouffres de plusieurs centaines ou même de plusieurs milliers de pieds de longueur, de 20, 30, même 100 pieds de largeur et presque toujours ils sont tellement profonds que l'œil ne peut atteindre le fond. Leurs parois verticales, d'un bleu foncé, rendues étincelantes par l'eau qui filtre le long d'une glace pure comme du cristal, forment l'un des spectacles les plus splendides que la nature nous offre, spectacle singulièrement relevé par l'idée des dangers qu'il présente et qui en rendent la jouissance impossible aux touristes qui ne se sentent pas complétement exempts de toute prédisposition au vertige. Il faut savoir, à l'aide de souliers bien

Digitized by Google

ferrés et d'un bâton bien pointu, se maintenir sur la glace, sur le bord d'un précipice à pic dont le fond se perd dans les ténèbres de la nuit à une profondeur inconnue. On ne peut pas toujours éviter ces crevasses lorsqu'on veut traverser un glacier. Ainsi sur la partie inférieure de la Mer de glace, traversée ordinairement par les touristes, on est obligé de marcher sur des bancs de glace étroits et souvent assez inclinés: ces bancs n'ont souvent que 3 ou 4 pieds de largeur et des deux côtés ils sont longés par un de ces gouffres bleus. Plus d'un touriste habitué à marcher sans crainte dans des sentiers taillés dans le roc, au bord d'un précipice, a senti son courage fléchir sur ces ponts de glace, et pourtant impossible de détourner les yeux de ces gouffres béants, car il faut soigneusement choisir l'endroit où l'on peut poser le pied. Ces gouffres bleus, ouverts sous nos pieds, sont loin d'être le plus grand danger des glaciers, quoique nous autres mortels nous soyons tellement organisés qu'un péril que nous voyons et que par cela même nous pouvons facilement éviter, nous effraye plus qu'un autre péril dont nous connaissons bien l'existence mais qu'un léger voile cache à nos yeux. Il en est ainsi des gouffres des glaciers. Dans la partie inférieure des glaciers ils sont béants devant nos yeux, nous menaçant de la mort; nous reculons effrayés, nous nous armons de prudence pour leur échapper; c'est à peine s'il y arrive un accident. Sur la partie supérieure des glaciers la surface est au contraire couverte de neige; lorsqu'elle tombe avec abondance, les couches épaisses forment voûte sur les crevasses larges seulement de 4 à 8 pieds et les couvrent de manière à les cacher complétement, de sorte que le touriste ne voit devant lui qu'une belle couche de neige bien unie. Lorsque ces ponts de neige sont assez épais ils portent bien un homme, mais ils ne le sont pas toujours et ce sont là les endroits où les hommes et même les chamois trouvent souvent la mort. Le moyen d'éviter ce danger consiste ordinairement à s'attacher deux ou trois au moyen d'une longue corde de manière à pouvoir se suivre à 10 ou 12 pieds de distance. Si l'un des touristes tombe dans une crevasse; les deux autres peuvent le retenir et le remonter.

Fig. 155. — Partie inférieure ou glacier de Gorner, près de Zermatt.

Dans certains endroits on peut descendre dans les fentes, surtout à la partie inférieure des glaciers. Sur les glaciers si souvent visités de Grindelwald, Rosenlaui et autres on en facilite l'accès aux voyageurs en taillant des marches dans la glace et en y plaçant des planches. Si l'on ne craint pas l'eau qui y suinte continuellement, on peut ainsi descendre assez bas dans les crevasses et admirer les parois de cristal, si merveilleusement transparentes de ces cavités. La belle couleur bleue qu'elles possèdent est la couleur naturelle de l'eau tout à fait pure; l'eau liquide, comme la glace, est colorée en bleu, mais excessivement peu, de sorte que la couleur ne devient visible que pour des couches de 10 pieds au plus. L'eau du lac de Genève et du lac de Garde présente la même couleur que la glace.

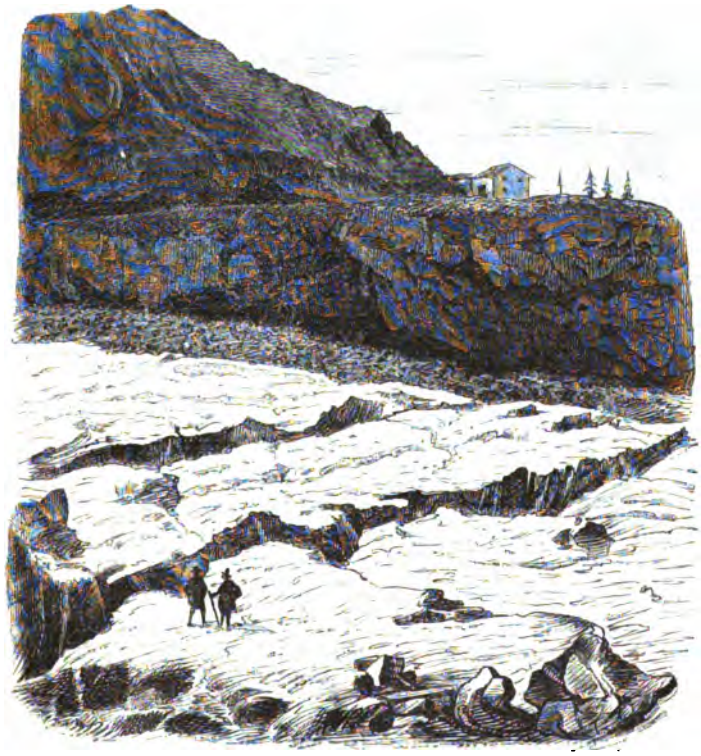


Fig. 156. — Surface de la Mer de glace, près du Montanvers.

Les glaciers ne sont pas partout déchirés; lorsque la glace se heurte contre un obstacle ou bien au milieu de deux grands fleuves de glace qui s'avancent parallèlement, la surface est tout à fait unie. La figure 156 montre une des parties les plus unies de la Mer de glace, dans le voisinage du Montanvers dont la petite maison apparaît dans le fond. Le Griesgletscher peut être traversé même à cheval à l'endroit où se réu-

Digitized by Google

nissent la vallée supérieure du Rhône et la vallée de la Tosa. Les endroits les plus déchirés de la surface des glaciers se trouvent naturellement dans les points où le lit passe d'une pente douce à une pente plus rapide. Là la glace se déchire dans tous les sens en formant des blocs isolés, auxquels la fusion donne l'aspect de pyramides et de pics pointus de formes très-curieuses, qui se précipitent de temps en temps avec un bruit effroyable dans les gouffres environnants. De loin un tel endroit ressemble à une cascade sauvage que le froid aurait solidifiée; de là aussi le nom de cascade qu'on leur donne. Le glacier du Talèfre (fig. 153) présente une de ces cascades en *l*, le glacier du Géant en présente un autre en *g*, enfin la partie inférieure de la Mer de glace en offre une troisième. Cette dernière, dont nous avons déjà parlé sous le nom de glacier des Bois, et qui s'élève sans transition à une hauteur de 1700 pieds au-dessus du sol de la vallée de Chamonix, hauteur du Kœnigstuhl, près de Heidelberg, frappe toujours d'admiration le touriste de Chamonix. La figure 157 représente ses blocs de glace déchirés.

Jusqu'ici nous avons comparé les glaciers à des fleuves en nous fondant sur leur aspect extérieur; cette ressemblance n'est pas purement extérieure, la glace du glacier se meut en effet, comme l'eau d'un fleuve, mais moins rapidement. Ce que je vous ai déjà appris sur la formation des glaciers vous prouve qu'il doit en être ainsi. Comme la glace de la partie inférieure des glaciers diminue continuellement par suite de la fusion, elle disparaîtrait nécessairement si de nouvelles masses ne suivaient pas toujours, constamment renouvelées par la chute des neiges sur les champs de neige.

Mais une observation attentive nous permettra de suivre de l'œil le mouvement des glaciers. Tout d'abord les habitants de la vallée, qui ont toujours devant les yeux le glacier, qui le traversent souvent et qui prennent comme points de repère pour retrouver leur chemin les gros blocs de rochers qui gisent à sa surface, s'aperçoivent de ce mouvement en voyant ces repères se déplacer chaque année d'une manière sensible vers le bas de la vallée. Comme par exemple la partie inférieure de la mer de glace de Chamonix se déplace chaque année de 400 à 500 pieds, vous comprendrez très-bien que ces déplacements, malgré leur lenteur, malgré la confusion chaotique qui règne parmi ces crevasses et ces masses de pierres, doivent finir par être remarqués.

Le glacier entraîne, outre les pierres, les objets qui se trouvent accidentellement à sa surface. En 1788, le célèbre naturaliste Saussure et son fils, accompagnés d'une caravane de porteurs et de guides, passèrent seize jours sur le col du Géant; en descendant le long des rochers du côté de la cascade du glacier du Géant (*g* fig. 153) ils y abandonnèrent une échelle de bois. C'était au pied de l'aiguille Noire à l'endroit où la quatrième moraine centrale de la Mer de glace prend son origine; cette ligne indique en même temps la direction dans laquelle la glace s'éloigne à partir de cet endroit. En 1832, c'est-à-dire quarante-quatre ans plus tard, des morceaux de cette échelle furent retrouvés par M. Forbes et par d'autres voyageurs, non loin au-dessous du point de réunion des trois glaciers de la Mer de glace, sur la moraine centrale dont j'ai parlé, en *s* figure 153; il s'ensuit que cette partie du glacier avait glissé en moyenne de 375 pieds par an. En 1827, Hugi s'était bâti une cabane sur la moraine centrale du glacier de l'Unteraar pour y faire des observations. L'endroit occupé par cette cabane fut déterminé par lui et, plus tard, par Agassiz, et chaque année elle se trouvait plus bas. Quatorze années après, en 1841, elle se trouvait à 4884 pieds plus bas; elle avait donc parcouru, en moyenne, 349 pieds de Paris par an. Agassiz trouva, plus tard, un déplacement un peu plus faible en observant les positions successives de la cabane qu'il avait lui-même construite sur le même glacier. Les observations dont je viens de parler exigeaient un temps très-long. Si l'on observe, au contraire, le mouvement des glaciers avec des instruments de précision, par exemple avec les théodolites dont se servent les arpenteurs, on n'a pas besoin d'attendre des années pour reconnaître le déplacement de la glace, un seul jour suffit.

Fig. 157. — Glacier des Bois.

De semblables observations ont été faites, dans ces derniers temps, par plusieurs observateurs, notamment par M. Forbes et par M. Tyndall. Il résulte de leurs mesures que la partie centrale de la Mer de glace avance, en été, avec une vitesse de 20 pouces par jour, vitesse qui, du côté de la cascade inférieure, monte à 35 pouces. En hiver, la vitesse est à peu près moitié moindre. Sur les bords du glacier et dans ses couches plus profondes, la vitesse, comme dans le cas de l'eau d'un fleuve, est considérablement plus petite que dans la partie centrale de la surface.

Les affluents supérieurs de la Mer de glace sont animés d'un mouvement moins rapide : il est de 13 pouces par jour pour le glacier du Géant, de 9 pouces et demi pour le glacier du

Digitized by Google

Léchaud. En général, la vitesse varie avec les différents glaciers, selon leur grandeur, leur inclinaison, la masse de la neige qui tombe et une foule d'autres circonstances.

Cette énorme masse de glace s'avance ainsi, d'une manière insensible et sans bruit, d'environ 1 pouce par heure. Il faut cent vingt ans à la glace du col du Géant pour atteindre la partie inférieure de la Mer de glace; son mouvement ne frappe pas les yeux de l'observateur superficiel, et cependant elle s'avance avec une force irrésistible, brisant comme des brins de paille tous les obstacles que les hommes pourraient lui opposer, laissant des traces de son passage même sur les parois granitiques de la vallée, comme nous le verrons plus tard. Lorsqu'à la suite d'une série d'années humides, accompagnées de chutes de neige, très-considérables dans les hauteurs, la partie inférieure du glacier s'avance, elle pousse devant elle non-seulement les demeures des hommes, en brisant sur son passage les arbres les plus vigoureux, elle déplace même, sans paraître éprouver une résistance sensible, les remparts formés par les immenses blocs de rochers qui constituent sa moraine terminale et qui forment des séries de collines très-considérables.

Quel spectacle vraiment grandiose que ce mouvement, si doux, si contenu, si irrésistible et si puissant!

Ici, je veux encore faire remarquer que la manière même dont les glaciers se meuvent nous apprend où et dans quel sens les fentes doivent se former. Comme toutes les couches du glacier n'avancent pas avec une égale rapidité, certains points restent en arrière par rapport à d'autres, par exemple les points voisins des bords par rapport à ceux du centre. Par suite, la distance d'un point donné situé près du bord à un point du centre qui se trouve primitivement sur la même hauteur augmente constamment, parce que ce dernier se meut plus vite; comme la glace située entre ces deux points ne peut pas se dilater en proportion de l'augmentation de la distance, elle se déchire et forme des fentes comme on peut le voir (fig. 158) sur les bords du glacier de Gorner, près de Zermatt. Je me laisserais entraîner trop loin si je voulais vous expliquer la formation de tous les systèmes de fentes régulières qui se produisent dans des endroits déterminés de tous les glaciers; il me suffira de vous dire que les explications tirées des considérations précédentes concordent très-bien avec les faits observés sur les glaciers.

Je vous ferai cependant encore observer que des déplacements excessivement petits suffisent pour former des centaines de fentes dans la glace. La coupe de la Mer de glace (fig. 154, *g*, *c*, *h*) vous montre des endroits où l'inclinaison de la surface de la glace varie, d'une manière presque insensible, de 2 à 4 degrés. Ce petit changement d'inclinaison suffit pour produire à la surface du glacier un système de fentes transversales. M. Tyndall a, en effet, avancé et prouvé, par des calculs et des mesures, que la masse de glace des glaciers ne se dilate pas du tout, mais qu'elle se brise toujours sous l'influence de la traction.

La distribution des pierres sur la surface des glaciers s'explique tout aussi facilement lorsqu'on considère leur mouvement. Ces pierres ne sont que les débris des montagnes entre lesquelles coule le glacier. Par suite de la décomposition des rochers ou sous l'influence de la congélation de l'eau qui se trouve dans leurs fentes, il s'en détache des morceaux qui roulent sur le glacier et principalement sur ses bords. Ces débris peuvent rester immédiatement couchés à la surface ou bien commencer par s'enfoncer dans la neige; mais ils finissent toujours par revenir à la surface par suite de la fusion des couches superficielles de neige et de glace; ils se rapprochent de plus en plus, surtout à la partie inférieure du glacier, où la glace qui les sépare se fond plus rapidement. La grandeur des blocs que la glace charrie avec elle et vient déposer à la partie inférieure du glacier est souvent colossale. On voit, dans les moraines terminales anciennes et nouvelles, des blocs de rochers de la grandeur d'une maison à deux étages.

Fig. 158. — Glacier de Gorner, près de Zermatt.

Les blocs de pierres se meuvent suivant des lignes qui restent à peu près parallèles entre elles et à la direction longitudinale du glacier. Ceux qui se trouvent au milieu du fleuve de glace restent au milieu, ceux qui sont couchés sur le bord restent sur le bord. Ces derniers sont les plus nombreux, parce que durant tout le parcours du glacier, de nouvelles roches peuvent tomber sur le bord et jamais sur la partie centrale du glacier. C'est ainsi que se forment, sur les bords de la glace, les moraines latérales dont les blocs sont en partie entraînés par la glace, en partie déposés sur le sol qui borde le glacier. Mais lorsque deux glaciers se réunissent, leurs moraines latérales se heurtent, forment au milieu du fleuve unique une moraine centrale et glissent en restant parallèles entre elles et aux rives du fleuve, jusqu'à ce qu'elles atteignent la limite inférieure de la glace qui appartenait primitivement à l'un ou à l'autre des bras du glacier. Ces moraines sont très-remarquables parce qu'elles montrent comment les parties voisines d'un même glacier s'avançent en bandes régulières et parallèles vers les parties inférieures. Il vous suffira de jeter un regard sur la carte de la Mer de glace et de ses quatre moraines centrales pour vous en convaincre.

Digitized by Google

Sur le glacier du Géant et sur son prolongement dans la Mer de glace, les pierres dispersées à la surface de la glace forment une série de bandes alternativement grises et blanches, des espèces d'anneaux annuels de la glace, observés pour la première fois par M. Forbes. En été, il descend une plus grande quantité de glace qu'en hiver par la cascade *g*, figure 153; il en résulte que la surface du glacier, au-dessous de la cascade, prend l'aspect de terrasses, ainsi que l'indique la figure. Comme, d'ailleurs, les côtés de ces terrasses qui regardent vers le nord fondent moins rapidement, la glace qui les forme est plus pure. C'est là, d'après M. Tyndall, l'origine probable de ces bandes boueuses. A l'origine, elles traversent assez régulièrement le glacier; mais comme dans la suite leur centre avance plus rapidement que leurs extrémités, elles prennent une forme bombée. Elles indiquent à l'observateur, par leur courbure même, les vitesses différentes que possèdent les diverses parties de la glace dans l'écoulement des glaciers.

D'autres pierres englobées dans les couches inférieures de la masse de glace jouent un rôle particulier; les unes sont tombées au milieu de ces couches par les crevasses de la surface, d'autres ont été arrachées au sol de la vallée. Ces pierres glissent avec la glace sur le sol de la vallée du glacier, contre lequel elles sont pressées par la charge énorme de la glace qui se trouve au-dessus d'elles. Les rochers englobés dans la glace et ceux qui sont fixés sur le sol de la vallée sont également durs et se réduisent en poussière sous l'influence du frottement qu'ils exercent les uns sur les autres avec une force devant laquelle disparaissent toutes les forces dont l'homme peut disposer. Le produit de ce frottement est une poussière excessivement fine entraînée par l'eau et qu'on retrouve dans le ruisseau du glacier, auquel elle donne une couleur blanchâtre ou jaunâtre. Quant aux rochers du sol de la vallée sur lesquels le glacier exerce continuellement son action de frottement, ils sont polis comme s'ils étaient soumis à un gigantesque polissoir. Ils subsistent sous forme de bosses bien polies et à peu près rondes, sur lesquelles on remarque, çà et là, des rayures produites par certaines pierres plus dures; c'est ainsi que nous les voyons apparaître à l'extrémité des glaciers lorsque, à la suite d'une série d'années chaudes et sèches, la glace se retire un peu. Mais nous trouvons ces rochers polis en bien plus grand nombre dans les parties inférieures de beaucoup de vallées des Alpes, où ils sont les traces laissées par d'anciens glaciers gigantesques. C'est principalement dans la vallée de l'Aar, jusque vers Meyringen, que l'on trouve ces rochers caractéristiques, polis jusqu'à une grande hauteur. C'est là aussi qu'on rencontre ces dalles de pierres polies, si célèbres, sur lesquelles passe un chemin, et qui sont si glissantes qu'on a été obligé de les entailler pour permettre aux hommes et aux chevaux d'y marcher sans danger.

A côté de ces rochers polis on trouve encore d'anciennes moraines et des blocs de pierre entraînés qui nous permettent de juger de l'immense extension des anciens glaciers. Les blocs de pierres transportés par les glaciers se distinguent de ceux que l'eau a roulés avec elle, par leur grandeur immense, par la complète conservation de toutes leurs arêtes, dont aucune n'est usée par le roulement et surtout parce que le glacier les a déposés les uns à la suite des autres, exactement dans l'ordre dans lequel se suivent sur la montagne les différentes roches dont ils proviennent, tandis que les courants d'eau entremêlent toutes les pierres qu'ils entraînent.

En se fondant sur ces caractères, les géologues ont pu démontrer que les glaciers de Chamonix, du mont Rose, du Saint-Gothard et des Alpes bernoises, avançaient par les vallées de l'Arve, du Rhône, de l'Aar et du Rhin jusque dans la plaine de la Suisse et jusqu'au Jura, où ils ont déposé leurs blocs à une hauteur de plus de 1000 pieds au-dessus du niveau actuel du lac de Neuchâtel. Des traces semblables d'anciens glaciers se trouvent sur les montagnes des Iles-Britanniques et de la presqu'île scandinave.

Les glaces flottantes des mers du Nord sont aussi de la glace glacière; les glaciers du Groënland la poussent dans la mer, où elle se détache de la masse totale du glacier pour aller nager au loin. En Suisse, nous trouvons, sur une petite échelle, une formation analogue de glace flottante sur le petit lac Maerjelen, dans lequel entre une partie des masses de glace du grand glacier d'Aletsch. Des blocs de pierre qui sont englobés dans la glace flottante peuvent ainsi faire de grands voyages par mer. Il est probable que l'énorme quantité de blocs de granit qui se trouvent dans la plaine du nord de l'Allemagne, et dont le granit appartient aux montagnes scandinaves, ont été charriés par des glaçons durant la période même pendant laquelle les glaciers des montagnes de l'Europe avaient pris une si immense extension.

Malheureusement je suis forcé de m'en tenir là sur l'histoire ancienne des glaciers pour revenir aux phénomènes qui se passent dans les glaciers de nos jours.

Des faits que je viens de vous exposer, il résulte que la glace d'un glacier coule lentement comme le ferait un fleuve d'une substance visqueuse, par exemple un fleuve de miel, de goudron ou une bouillie épaisse d'argile. La masse de glace ne glisse pas simplement sur le sol comme un corps solide qui descend une pente, elle se plie, ses parties glissent les unes sur les autres, et quoique la masse glisse en même temps sur le sol de la vallée, les parties qui touchent le sol ou les parois de la vallée sont sensiblement ralenties par cet immense frottement. Le milieu de la surface du glacier, c'est-à-dire la partie la plus éloignée du sol et des parois de la la vallée, se meut, au contraire, le plus vite. Un prêtre savoyard, l'abbé Rendu, et le célèbre naturaliste écossais Forbes furent les premiers à faire ressortir l'analogie des glaciers avec un fleuve d'un liquide visqueux.

Vous me demanderez, sans doute, avec surprise, comment il se peut que la glace, de toutes les substances connues la moins flexible et la plus cassante, puisse couler dans un glacier comme une substance visqueuse? Vous êtes peut-être très-disposés à ne voir en cela que l'hypothèse la moins naturelle et la plus paradoxale qui ait jamais été créée par l'imagination des naturalistes. Je m'empresse d'ajouter que les naturalistes ont eux-mêmes été singulièrement embarrassés en présence des résultats de leurs recherches. Mais les faits sont là et ne sauraient être niés. La manière même dont le mouvement de la glace peut se produire resta longtemps une énigme d'autant plus impénétrable que la facilité avec laquelle la glace se casse se montre dans les glaciers eux-mêmes par la formation d'innombrables fissures. C'est là, comme M. Tyndall l'a fait remarquer avec raison, une différence essentielle entre les fleuves de glace et les rivières de lave, de goudron, de miel ou d'eau bourbeuse.

La solution de ce curieux problème ressortit — comme cela arrive souvent dans les sciences naturelles — de recherches en apparence complétement étrangères à la question, entre-

Digitized by Google

prises pour étudier la nature de la chaleur, recherches dont les résultats constituent une des conquêtes les plus importantes de la physique moderne, et qu'on désigne ordinairement sous le nom de théorie mécanique de la chaleur. A côté d'une foule d'enseignements sur les rapports réciproques des forces de la nature, les principes de la théorie mécanique de la chaleur conduisent à certaines conclusions sur la relation qui existe entre le point de congélation de l'eau et la pression à laquelle sont soumises l'eau et la glace.

Vous savez que nous déterminons l'un des points fixes de notre échelle thermométrique, celui que nous appelons point de *congélation* ou *zéro*, en plongeant le thermomètre dans un mélange d'eau pure et de glace. L'eau — du moins quand elle est en contact avec de la glace — ne peut être refroidie au-dessous de zéro sans se transformer elle-même en glace; la glace ne peut être chauffée au-dessus de zéro sans fondre. Ainsi, de l'eau et de la glace ne peuvent se trouver en présence qu'à la seule température unique de 0 degré.

Si l'on cherche à échauffer un pareil mélange à l'aide de la chaleur d'une flamme la glace fond, mais la température du mélange ne peut dépasser 0 degré aussi longtemps qu'il reste une portion de glace non fondue. Ainsi, la chaleur fournie au mélange transforme de la glace à 0 degré en eau à 0 degré, sans qu'on puisse constater la moindre élévation de température à l'aide du thermomètre. C'est pour cela que les physiciens disent que la chaleur absorbée est devenue *latente*, et que l'eau à 0 degré contient une certaine quantité de chaleur latente de plus que la glace à la même température.

Réciproquement, quand nous enlevons de la chaleur à un tel mélange l'eau gèle peu à peu; mais aussi longtemps qu'il reste une portion d'eau liquide, la température ne descend pas au-dessous de 0 degré. Dans ce cas, l'eau à 0 degré a abandonné sa chaleur latente pour passer à l'état de glace à 0 degré.

Un glacier est une masse de glace traversée dans tous les sens par des filets d'eau et dont, pour cette raison, toutes les parties intérieures sont à la température de 0 degré. Les couches inférieures de névé des champs de neige paraissent avoir cette même température dans les parties les plus élevées de nos Alpes. La neige, au moment où elle tombe, a presque toujours une température inférieure à 0 degré; mais les premiers rayons de soleil fondent les couches de la surface, et l'eau ainsi produite s'infiltre dans les couches plus profondes et plus froides où elle continue à se transformer en glace jusqu'à ce que toutes les couches aient pris une température uniforme de 0 degré. A partir de ce moment, la température reste invariable. En effet, les rayons du soleil peuvent bien fondre la glace de la surface, mais jamais ils ne peuvent élever sa température au-dessus de 0 degré, et le froid de l'hiver ne pénètre pas profondément dans ces couches de neige et de glace qui sont fort peu conductrices, pas plus qu'il ne pénètre dans nos caves. Les couches inférieures des champs de neige comme celles des glaciers restent donc indéfiniment à la température de 0 degré.

Mais la température du point de congélation de l'eau peut être modifiée par une forte pression. M. James Thomson, de Belfast, le premier, et M. Clausius de Zurich peu après, arrivèrent à cette conséquence en partant de la théorie mécanique de la chaleur, qui fournit même le moyen de déterminer à l'avance la grandeur de la variation produite par la pression. Le point de fusion descend de $\frac{3}{111}$ de degré Réaumur pour une pression de une atmosphère. Le frère de M. Thomson, M. W. Thomson, le célèbre physicien de Glasgow, confirma par l'expérience les conséquences de la théorie, en comprimant un mélange de glace et d'eau dans un vase suffisamment solide; celui-ci se refroidissait de plus en plus à mesure que la pression montait, et cela dans des proportions conformes aux conséquences théoriques.

Mais, quand sous l'influence de la pression un mélange d'eau et de glace se refroidit, cela ne peut se faire que si de la chaleur latente devient libre, c'est-à-dire si une partie de la glace fond pour se transformer en eau. C'est là aussi la raison pour laquelle la pression influe sur la température de fusion de la glace. Vous savez que la glace occupe un espace plus grand que l'eau dont elle provient. Lorsque de l'eau gèle dans un vase hermétiquement fermé, elle brise non-seulement des vases de verre, mais même des bombes de fer. Ainsi donc, par le fait même de la fusion d'une portion de la glace lors de la compression d'un mélange de glace et d'eau, le volume de la masse diminue, et celle-ci peut ainsi céder à la pression qu'elle supporte, plus qu'elle ne le pourrait sans ce changement de la température de fusion. La pression mécanique facilite dans ce cas la fusion, c'est-à-dire la production d'un changement favorable au développement de sa propre action; on peut observer la même chose dans presque toutes les actions réciproques des forces de la nature.

Dans l'expérience de M. W. Thomson, l'eau et la glace étaient renfermées dans un vase dont rien ne pouvait s'échapper. La question prend une tournure un peu différente, lorsque l'eau qui se trouve entre les morceaux de glace comprimés peut s'échapper par des fentes, comme cela arrive dans les glaciers. Dans ce cas, la glace est comprimée, mais non l'eau qui s'échappe. La glace comprimée se refroidit alors d'une quantité correspondante à l'abaissement de son point de congélation par la pression, mais le point de congélation de l'eau qui n'est pas comprimée ne change point. Nous avons donc, dans ces circonstances, de la glace au-dessous de 0 degré en contact avec de l'eau à 0 degré. Il en résultera que tout autour de la glace comprimée une partie de l'eau se congèle, tandis qu'en même temps une partie de la glace comprimée continue à fondre.

C'est ce qui arrive déjà lorsqu'on presse l'un contre l'autre deux morceaux de glace. L'eau gèle sur les surfaces en contact, les deux morceaux de glace se soudent et ne forment plus qu'une masse continue. Lorsque la pression est forte, la glace se refroidit beaucoup, et l'union se fait très-rapidement; mais on peut réussir à souder les deux morceaux sous une faible pression, il suffit pour cela d'attendre plus longtemps. M. Faraday, qui a découvert ce phénomène, lui a donné le nom de régélation de la glace; on a beaucoup disputé sur l'explication de ce phénomène; je ne vous ai donné que celle qui me paraît la plus satisfaisante.

L'union de deux morceaux de glace se fait très-facilement lorsqu'on se sert de deux morceaux de formes convenables, dont la température n'est pas inférieure à 0°; elle réussit le mieux lorsque les morceaux ont déjà commencé à fondre (1). Il suffit de les presser pendant quelques instants l'un contre

(1) Le professeur se servait d'une série de petits cylindres de glace obtenus par un procédé indiqué plus loin; on les pressait l'un contre l'autre par leurs surfaces planes et l'on parvenait ainsi à former un bâton de glace cylindrique.

Digitized by Google

l'autre pour les souder. Plus les surfaces en contact sont unies, mieux elles se soudent par la régélation. Une pression même très-petite peut suffire lorsque le contact est prolongé.

Cette propriété de la glace est mise à profit par les enfants lorsqu'ils font des pelotes ou des hommes de neige. On sait que cela n'est possible que si la neige a déjà commencé à fondre ou si sa température est assez peu inférieure à 0° pour que la chaleur de la main suffise pour la ramener à la température de fusion. De la neige très-froide est une poudre sèche qui ne s'agglutine pas du tout.

Ce que les enfants font en petit, en faisant leurs pelotes de neige, se passe sur une échelle immense dans les glaciers. Les couches inférieures du névé, primitivement à l'état de poudre fine, sont comprimées par les masses de neige qui s'élèvent au-dessus d'elles en montagnes de plusieurs centaines de pieds de hauteur. Sous l'influence de cette pression elles se pelotent pour former une masse de plus en plus dense. La neige qui vient de tomber consiste en petites aiguilles de glace microscopiques très-fines, formant de charmantes petites étoiles hexagonales. Dès que les couches supérieures des champs de neige reçoivent les rayons du soleil, elles fondent en partie, et l'eau provenant de leur fusion s'infiltre dans la neige et va se geler dans les couches plus profondes au contact de la neige plus froide. Elle donne à celle-ci un aspect granuleux, et la ramène à la température de 0°. Mais comme le poids des masses de neige superposées va en grandissant sans cesse, cette neige granuleuse se soude et prend enfin l'aspect d'une masse très-dure et très-dense.

Nous pouvons reproduire artificiellement cette transformation de la neige en glace en employant une pression convenable.

Fig. 159. — Moule de fonte servant à comprimer de la neige et de la glace.

Vous voyez (fig. 159) un vase cylindrique de fonte AA; la plaque du fond BB est maintenue par trois vis et peut être enlevée lorsqu'on veut sortir le cylindre de glace formé à l'intérieur. Après avoir maintenu ce vase pendant quelques instants dans de la glace fondante pour le refroidir jusqu'à 0°, on le remplit de neige; on y introduit ensuite au moyen d'une presse hydraulique le piston CC qui remplit la capacité intérieure tout en y entrant facilement. La presse hydraulique dont je me sers permet de porter jusqu'à 50 atmosphères la pression à laquelle on soumet la glace. Naturellement la neige soumise à cette grande pression n'occupe plus qu'une place excessivement petite. On enlève la pression, on sort le piston et l'on remplit de neige la partie vide du cylindre. On continue ainsi jusqu'à ce qu'on ait rempli la cavité entière du vase AA d'une masse de glace qui ne cède plus sous l'action de la presse. Si je sors maintenant la neige comprimée, vous verrez qu'elle s'est transformée en un cylindre de glace dure, aux arêtes bien tranchées et présentant une apparence trouble. Vous allez vous faire une idée de sa dureté en entendant le bruit qu'il fait en se brisant au moment où je le lance sur le sol.

De même que la neige des champs de neige se comprime dans les glaciers pour former de la glace, de même des morceaux de glace tout formés mais irréguliers se réunissent en une couche de glace transparente et unie. Ce phénomène s'accomplit de la manière la plus surprenante au pied des cascades des glaciers. On rencontre de ces cascades dans lesquelles la partie supérieure du glacier vient se terminer au bord d'un rocher à pic d'où il précipite ses immenses blocs de glace sous forme d'avalanches. Les blocs brisés, dont les éclats s'entassent au pied du rocher, se réunissent de nouveau en une masse unie qui poursuit son chemin à l'état de glacier. On rencontre bien plus souvent des endroits où le fleuve de glace ne se déchire pas complétement, mais où le sol de la vallée s'incline brusquement; tels sont par exemple certains endroits sur lesquels j'ai déjà appelé votre attention, la cascade du glacier du Géant, le point *g* (fig. 153) de la Mer de glace, les points *i* et *h* de la grande cascade terminale du glacier des Bois. Dans ces endroits, la glace se brise en milliers de blocs et de bancs qui se réunissent de nouveau en grandes masses continues à la partie inférieure de la pente.

Nous pouvons encore imiter ici la nature au moyen de notre cylindre de fonte; au lieu d'y introduire de la neige, j'y jette maintenant des morceaux de glace irréguliers, et je comprime; j'ajoute de nouveaux morceaux de glace, et j'opère, comme dans l'expérience précédente, jusqu'à ce que le cylindre soit complétement plein. En sortant la masse comprimée, je reconnais qu'elle forme un cylindre unique de glace assez claire, à arêtes bien tranchées, et qu'elle remplit exactement la forme intérieure du cylindre.

Cette expérience, qui est due à M. Tyndall, montre que sous l'influence de la pression on peut donner une forme quelconque à un bloc de glace, absolument comme à un morceau de cire. On pourrait croire qu'un pareil bloc commence par se réduire en poussière très-fine sous l'action de la pression, que sous cet état elle remplit tous les coins de la forme, et que cette poudre analogue à la neige se réunit de nouveau en une seule masse par la congélation. On pourrait d'autant mieux songer à cette explication que, pendant la compression, on entend continuellement la glace craquer dans l'intérieur du cylindre. Mais rien que l'aspect du cylindre produit par la compression des morceaux de glace peut nous apprendre qu'il ne s'est pas formé de cette manière. En effet, ces cylindres sont beaucoup plus transparents que ceux qui ont été formés avec de la neige, et l'on y reconnaît encore les morceaux isolés qu'on a employés, quoique leur forme se soit modifiée en s'aplatissant. L'expérience est très-belle lorsqu'on commence par introduire dans la forme des

Digitized by Google

morceaux de glace, et qu'on achève de remplir avec de la neige. Le cylindre est alors composé de couches alternativement transparentes et troubles; les premières provenant de la glace, les dernières de la neige. Dans ce cas, on distingue encore les morceaux de glace transparents comprimés en plaques.

Ces remarques nous apprennent déjà que la glace n'a pas besoin d'être préalablement réduite en poussière pour prendre sous l'action de la pression la forme d'un cylindre, mais qu'elle peut céder sans que ses parties cessent d'être adhérentes. Nous pouvons nous en convaincre d'une manière plus saisissante encore, et nous faire une idée plus exacte de la raison pour laquelle la glace obéit à la pression. Au lieu de comprimer la glace dans un moule fermé dans lequel nos regards ne peuvent pénétrer, nous la comprimons entre deux plaques de bois.

Je place tout d'abord entre les deux plateaux de la presse un morceau de glace plus ou moins cylindrique pris à la surface d'une rivière couverte de glace et pourvu de deux faces planes. Je fais marcher la presse; sous l'influence de la pression le morceau de glace se brise; chacune des fentes qui se produisent traverse de part en part toute la masse, qui se divise en une foule de grands morceaux qui se fendillent et se divisent à leur tour lorsque j'augmente l'action de la presse. Quand j'interromprai la pression, vous remarquerez que tous ces morceaux se sont regelés et forment une espèce de plaque irrégulière; mais l'aspect de l'ensemble nous montre que si la glace a changé de forme, c'est moins parce qu'elle a cédé à la pression que parce qu'elle s'est brisée. D'ailleurs tous les morceaux ont complétement changé de position les uns par rapport aux autres.

Les choses se passent tout autrement si je place entre les plateaux de la presse un de nos cylindres produits en comprimant de la glace ou de la neige. Dès que j'augmente la pression, on entend de nouveau des craquements; mais le cylindre ne se rompt pas, il change peu à peu de forme, s'affaisse de plus en plus en s'élargissant, et ce n'est que plus tard, lorsque le cylindre a déjà pris la forme d'une plaque cylindrique, qu'il commence à se déchirer sur les bords, en reproduisant en petit les fissures des glaciers. La figure 160

Fig. 160. — Cylindre de glace sortant du moule de fonte AA.

indique la hauteur et le diamètre d'un pareil cylindre dans son état initial, la figure 161 le montre lorsqu'il sort de la presse.

Nous aurons une preuve plus convaincante encore de la facilité avec laquelle se travaille cette glace, en forçant le cylindre, comprimé dans la forme, à passer par une ouverture étroite. A cet effet, je remplace la plaque du fond par une autre plaque percée d'une ouverture conique d'un diamètre égal

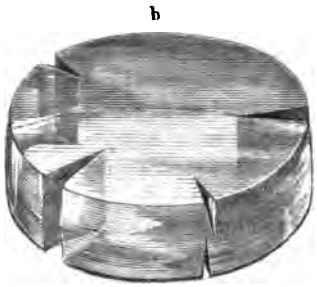


Fig. 161. — Gâteau de glace obtenu en comprimant le cylindre (a) entre les plateaux d'une presse hydraulique.

aux $\frac{2}{3}$ du diamètre de la forme. La figure 162 est une section transversale de tout le système. Si j'introduis maintenant dans

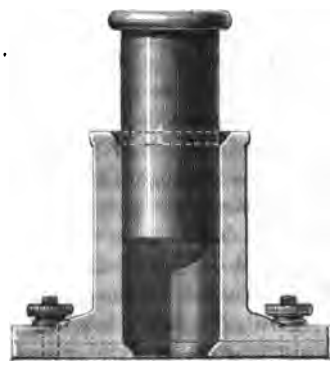


Fig. 162. — Section transversale du moule de fonte dont le fond a été remplacé par une plaque percée d'une ouverture conique.

la forme un des cylindres comprimés dans l'expérience précédente, et que j'enfonce le piston, je force la glace à sortir par l'ouverture inférieure. On la voit sortir au commencement sous la forme d'un cylindre solide de même diamètre que l'orifice. Mais comme la glace sort plus rapidement au milieu que sur les côtés, l'extrémité libre du cylindre se voûte, de sorte qu'on ne peut la faire rentrer par l'ouverture par laquelle elle est sortie. *a*, *b*, *c*, (fig. 163), sont les différentes formes qui prennent ainsi naissance.

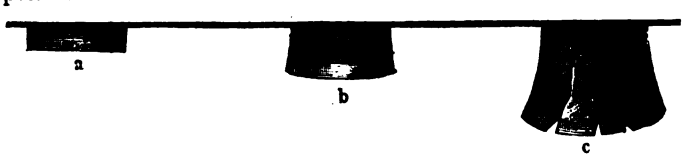


Fig. 163. — Formes successives du cylindre de glace sortant de l'ouverture conique.

Dans ce cas, les fentes qui se produisent dans le cylindre de glace qui sort par l'ouverture, montrent une ressemblance frappante avec les fentes longitudinales qui divisent le courant d'un glacier à l'endroit où le glacier pénètre dans une vallée plus large, en passant par un ravin étroit formé par des rochers (1).

(1) Pendant ces expériences, la basse température de la glace comprimée se propageait à travers la forme de fonte de manière à transformer en une plaque très-mince l'eau qui se trouvait entre la plaque du fond et le cylindre; on avait cependant eu soin de laisser séjourner dans de la glace fondante le cylindre de fer et les morceaux de glace.

Digitized by Google

Dans les expériences que je viens de vous montrer, nous voyons la glace changer de volume sous nos yeux, tout en conservant sa continuité, sans se briser en morceaux. Le bloc de glace rigide semble même s'aplatir comme de la cire.

En observant d'une manière plus attentive le cylindre transparent produit par la compression des morceaux de glace transparente, au moment où la presse commence à fonctionner, nous pouvons nous rendre compte de ce qui se passe dans l'intérieur du moule. Nous voyons en effet une quantité innombrable de fissures enchevêtrées le traverser comme un nuage trouble. Le plus grand nombre de ces fissures disparaît un instant après, lorsqu'on interrompt l'action de la presse ; il en reste cependant quelques-unes. Un pareil bloc de glace sortant de la presse est sensiblement plus trouble qu'avant son introduction, et, ainsi qu'on peut le reconnaître à l'aide de la loupe, cela tient à une grande quantité de lignes capillaires blanchâtres qui traversent en tous sens l'intérieur de la masse de glace, du reste transparente. Ces lignes ne sont que la traduction optique de fissures excessivement fines qui traversent la masse de glace (1).

Nous pouvons conclure de là que le bloc de glace comprimé est traversé par une multitude de petites fissures et de petites fentes, qu'il cède à l'influence de la pression parce que ses particules se déplacent et se soustrayent ainsi à son action. Dès que la pression cesse d'agir, la plus grande partie de ces systèmes de fentes disparaît par la congélation. Ce n'est que dans les endroits où le déplacement des particules de glace est tel que les surfaces de ces particules ne se correspondent plus exactement, qu'il reste des traces de fissures. Ces fissures se trahissent au regard par suite de la réflexion de la lumière qui y pénètre et qui leur donne l'aspect de lignes et de surfaces blanchâtres.

Ces fentes et ces surfaces de séparation de la glace comprimée deviennent encore plus apparentes lorsque la glace qui, comme je vous l'ai expliqué plus haut, est descendue au-dessous de 0° pendant la compression, s'échauffe de nouveau jusqu'à ce point et commence à fondre lentement. Alors les fentes se remplissent d'eau, et le morceau de glace consiste en une infinité de petits grains de glace dont la grosseur varie depuis celle d'une tête d'épingle jusqu'à celle d'un petit pois; ces grains sont intimement reliés par leurs arêtes et leurs angles, et sont souvent encore enchevêtrés lorsque les fentes très-fines qui les séparent sont déjà pleines d'eau. Si d'un de ces blocs composés de grains de glace on détache avec l'ongle de petits morceaux d'une arête, on y reconnaît des grains polyédriques. Du reste, la glace des glaciers présente exactement la même composition, avec cette différence que les morceaux dont elle est formée sont plus grands que ceux de la glace comprimée artificiellement, et atteignent la grosseur d'un œuf de pigeon.

La glace glacière et la glace comprimée nous apparaissent donc comme des substances à structure grenue par rapport à la glace cristallisée régulièrement telle qu'elle se forme à la surface des eaux tranquilles (1). Nous trouvons entre ces deux espèces de glace la même différence qu'entre le spath calcaire et le marbre, qui tous les deux sont formés par du carbonate de chaux; le premier est à l'état de grands cristaux réguliers, le marbre, au contraire, est formé par un assemblage irrégulier de grains cristallins. Dans le spath calcaire comme dans la glace cristallisée, des fentes qu'on peut produire avec un couteau, se propagent au loin dans la masse, tandis qu'une fissure qui se produit dans l'un des grains de la glace granuleuse ne s'étend pas nécessairement au delà du grain même.

La glace formée artificiellement par la compression de la neige, et par conséquent primitivement composée d'une quantité innombrable de petites aiguilles cristallines, est très-plastique. Cependant elle se distingue immédiatement par son aspect de la glace des glaciers, parce qu'elle est très-trouble à cause de la grande quantité d'air contenu dans la masse floconneuse de la neige, et qui y reste emprisonné sous forme de bulles. On peut rendre ce fait plus évident en comprimant cette masse entre deux plaques de bois ; on voit alors s'échapper de la surface du cylindre des bulles d'air sous forme d'écume. On peut casser la plaque de glace ainsi formée pour la replacer dans la forme de fonte et la comprimer de nouveau en un cylindre; en continuant ainsi à pétrir la glace on parvient à éliminer l'air de plus en plus et à rendre la glace de plus en plus claire. C'est certainement de la même manière que la masse blanchâtre de névé se transforme peu à peu en glace glacière transparente.

Enfin, si l'on comprime les cylindres obtenus par la compression de couches alternatives de neige et de glace pour en former des plaques aplaties, il se produit des bandes fines, provenant de ce que les couches claires et les couches blanchâtres s'étendent très-régulièrement.

On trouve dans beaucoup de glaciers de la glace portant de ces bandes; M. Tyndall pense qu'elles proviennent de la neige tombée entre les blocs des cascades de glace. Ce mélange de neige et de glace transparente est comprimé dans le cours ultérieur du glacier et étiré en bandes par suite de son mouvement; c'est donc un phénomène tout à fait analogue à celui que nous avons produit artificiellement.

Vous voyez comment le glacier, avec ses blocs de glace entassés pêle-mêle les uns au-dessus des autres, avec ses surfaces désolées, couvertes de pierres et de boue, avec ses crevasses béantes qui menacent de nous engloutir, s'est transformé sous les yeux de l'observateur en un fleuve majestueux, plus calme et plus régulier que tout autre fleuve, obéissant à des lois déterminées, se rétrécit, s'élargit, s'élève ou se jette dans des précipices en se brisant avec fracas. Si nous le suivons maintenant au delà de ses limites, nous voyons l'eau produite par la fusion de la glace réunie en un ruisseau important sortir par la porte de glace du glacier et s'écouler au loin. Il est vrai de dire qu'un pareil ruisseau, à l'instant où il sort de dessous les glaces est singulièrement bourbeux, parce qu'il emporte avec lui toute la poussière des rochers polis par le glacier. On est tout désappointé de voir cette belle glace bleue si merveilleusement transparente, transformée en une eau aussi sale. En réalité, l'eau des ruisseaux de glacier est en elle-même aussi belle et aussi pure que la glace, quoique, au pre-

(1) Ces fissures sont probablement vides d'air ; car elles se forment de même lorsqu'on comprime dans la forme de fonte des morceaux de glace transparente entourés d'eau qui empêchent complétement l'accès de l'air. M. Tyndall a déjà montré qu'on rencontre des fissures sans air dans la glace glacière. Lorsque la glace ainsi comprimée se fond lentement, ces fissures se remplissent complétement d'eau sans laisser de bulles d'air. Par ce fait les fissures deviennent beaucoup moins visibles, et tout le bloc devient plus transparent, ce qui prouve qu'elles ne peuvent pas contenir de l'eau au moment où elles se forment.

(1) Voyez la leçon de M. Bertin sur la *Constitution de la glace*, n° 24 de la *Revue des cours scientifiques*, 3e année.

Digitized by Google

mier abord, sa beauté nous soit cachée. Il faut aller retrouver ces ruisseaux lorsqu'ils ont traversé un lac dans lequel ils ont déposé leur poussière. Les lacs de Genève et de Thun, le lac des Quatre-Cantons, le lac de Constance, le lac Majeur, les lacs de Côme et de Garde, sont principalement alimentés par l'eau des glaciers; la clareté et l'admirable couleur bleue ou bleu verdâtre de leurs eaux font le charme de tous les touristes.

Mais laissons là le beau et cherchons l'utile; nous trouverons encore plus de raisons pour admirer. Cette poussière de roche si laide, entraînée par les glaciers, produit partout où elle se dépose, un sol très-fertile. Elle se trouve sous la forme d'une poudre très-fine; et, de plus, elle constitue un terrain vierge très-riche en principes minéraux assimilables par les plantes. Les couches d'argile très-fine qui couvrent toute la vallée du Rhin jusqu'en Belgique ne sont en réalité que de la poussière de roche provenant d'anciens glaciers.

La distribution de l'humidité dans une contrée qui contient des champs de neige et des glaciers présente des caractères particuliers; tout d'abord l'humidité est plus abondante parce que l'air humide qui passe au-dessus des glaciers y dépose sous forme de neige l'eau qu'il contient. En second lieu, c'est en été que la neige fond le plus rapidement, de sorte que les sources qui sont alimentées par les champs de neige coulent avec le plus d'abondance dans la saison même pendant laquelle le besoin de l'eau se fait le plus sentir.

Nous apprenons ainsi à connaître, sous un autre aspect, ces déserts de glace. C'est des glaciers que proviennent ces mille petits filets, sources et ruisseaux dont l'humidité fertilisante permet aux laborieux habitants des Alpes d'arracher aux flancs sauvages des montagnes l'herbe savoureuse et des aliments en abondance. Ce sont les glaciers qui engendrent sur la surface comparativement petite de la chaîne des Alpes les fleuves les plus puissants, le Rhin, le Rhône, le Pô, l'Etsch, l'Inn, qui traversent l'Europe en suivant pendant des centaines de lieues de larges vallées bien fertiles pour aller se jeter dans la mer du Nord, dans la Méditerranée, dans la mer Adriatique et dans la mer Noire. Vous rappelez-vous comment Gœthe, dans son *Chant de Mahomet*, a chanté le cours du ruisseau sorti du rocher, depuis son origine dans les nuages jusqu'à son union avec le père Océan. Il serait téméraire de le dépeindre après lui en d'autres termes que les siens.

« Dans son cours triomphal, il donne des noms aux contrées; des villes naissent sous ses pieds. Irrésistible, il se précipite en avant, laissant derrière lui les sommets dorés des tours, des palais de marbre, toute une création sortie de son sein. Ce nouvel Atlas porte des maisons de cèdre sur ses épaules; des milliers de pavillons flottent au-dessus de sa tête, témoins de sa gloire.

» Frémissant de plaisir, il va porter ses frères, ses trésors, ses enfants dans les bras de celui qui lui a donné la vie. »

La théorie de la régélation de la glace a donné lieu à des discussions scientifiques entre MM. Faraday et Tyndall d'un côté et MM. J. et W. Thomson de l'autre. Dans ma leçon, j'ai admis la théorie de ces derniers; je vais donner les raisons qui me l'ont fait choisir.

Les expériences de M. Faraday prouvent qu'une pression très-petite, même celle qui se produit sous l'action de la capillarité sur la couche d'eau qui se trouve entre deux morceaux de glace, suffit pour unir ceux-ci. M. James Thomson a déjà fait remarquer que dans les expériences de M. Faraday, la pression qui unit les deux morceaux de glace ne fait pas absolument défaut. Je me suis assuré, de mon côté, par des expériences, que cette pression peut être excessivement petite. Il faut cependant remarquer que plus la pression est faible plus il faudra de temps pour que la soudure des morceaux de glace ait lieu, et, dans ce cas, les *ponts de glace* qui relient les deux morceaux sont très-étroits et se brisent facilement. A l'aide de la théorie de M. J. Thomson ces deux faits s'expliquent facilement. En effet, lorsque la pression est faible, la différence de température entre l'eau et la glace devient très-faible, et les couches d'eau qui sont en contact avec les parties comprimées de la glace ne perdent que très-lentement leur chaleur latente, de sorte qu'il leur faut nécessairement un temps très-long pour se geler. Il faut aussi faire attention que les deux surfaces de glace qui sont en contact ne peuvent pas être considérées comme absolument planes; sous une faible pression, qui ne peut pas modifier leur forme d'une manière sensible, les deux morceaux ne se toucheront donc, pour ainsi dire, que par trois points. Concentrée sur des surfaces de contact si petites, la pression totale, quelque faible qu'elle soit, pourra produire une pression locale suffisamment grande pour faire fondre une petite portion de la glace et regeler l'eau ainsi formée; mais les points de soudure n'occuperont qu'une très-petite surface.

Lorsque la pression est plus forte, les formes des morceaux de glace comprimés peuvent mieux se modifier et s'adapter, les points qui sont en contact fondent plus rapidement, nous constatons des différences de température plus grandes entre la glace et l'eau et, par suite, les ponts se forment plus vite et deviennent plus larges.

Pour faire ressortir cette action lente, produite par de faibles différences de température, j'ai fait l'expérience suivante: j'ai rempli à moitié d'eau un ballon de verre à col effilé, j'ai fait bouillir de manière à chasser tout l'air contenu dans le ballon, enfin j'ai fermé au chalumeau pendant l'ébullition. Après le refroidissement le ballon est vide d'air et l'eau qu'il contient n'est plus soumise à la pression atmosphérique. Dans ces conditions, l'eau enfermée dans le ballon peut être refroidie considérablement au-dessous de 0 degré avant qu'il ne commence à s'y former de la glace, mais une fois que la solidification a commencé, elle se poursuit même à la température de 0 degré. J'ai donc commencé par placer le ballon dans un mélange réfrigérant jusqu'à ce que l'eau ait été transformée en glace, dont j'ai ensuite laissé fondre lentement à peu près la moitié en maintenant le ballon dans une atmosphère à + 2 degrés.

Le ballon, dans lequel un morceau de glace nageait sur l'eau, fut ensuite complétement entouré d'un mélange d'eau et de glace. Après une heure environ, la glace intérieure s'était fixée par la congélation sur les parois de verre du ballon. On l'en détachait en secouant le ballon, on remettait celui-ci dans le mélange, et après chaque expérience la glace était de nouveau adhérente aux parois. On maintint le ballon pendant huit jours dans le mélange à 0 degré. Il se forma au fond du ballon des cristaux de glace très-réguliers et très-nets qui croissaient très-lentement. C'est peut-être là la meilleure méthode à suivre pour obtenir des cristaux de glace bien formés.

Ainsi, pendant que la glace extérieure qui se trouve sous

Digitized by Google

la pression d'une atmosphère fond peu à peu, l'eau intérieure dont le point de congélation, par suite de la moindre pression, s'est élevée de 0°,0075, donne naissance à des cristaux de glace. La chaleur enlevée à l'eau dans cette expérience était obligée de traverser toute l'épaisseur des parois du ballon, ce qui, ajouté à la petite différence de température, explique la lenteur avec laquelle s'effectue la congélation.

La pression d'une atmosphère sur 1 millimètre carré équivaut à peu près à un poids de 10 grammes. Un petit morceau de glace du poids de 10 grammes, couché sur un autre avec lequel il a trois points de contact, occupant ensemble une surface d'un millimètre carré, produit donc déjà une pression d'une atmosphère, qui suffit pour produire la congélation des couches d'eau voisines plus rapidement que ne se faisait celle de l'eau du ballon, dont les parois de verre séparaient l'eau de la glace. Le poids du morceau de glace peut même être beaucoup plus petit sans que la congélation cesse de se reproduire. A mesure qu'il se forme de la glace nouvelle, ces surfaces en contact deviennent plus larges et la pression produite par le morceau de glace supérieur porte sur des surfaces plus grandes et devient plus petite, de sorte que les petits ponts de glace augmentent très-peu et très-lentement; c'est pour cela qu'ils se brisent si facilement lorsqu'on cherche à séparer les morceaux de glace.

Dans les expériences de M. Faraday, deux plaques de glace percées d'un trou étaient supportées par un tube de verre, de sorte que la pesanteur ne pouvait les presser l'une contre l'autre; mais l'attraction capillaire qui se développe dans ces cas est suffisante pour produire une pression de quelques grammes entre les deux plaques. Les explications que je viens de donner prouvent d'ailleurs qu'une telle pression suffit pour produire des ponts de glace entre les deux plaques, si on les laisse assez longtemps en contact.

Si, à l'aide des mains, on presse l'un contre l'autre les cylindres de glace dont j'ai parlé dans ma leçon, ils se soudent si fortement, après quelques instants de contact, qu'il faut exercer un effort considérable pour les séparer, et que souvent la force du bras ne suffit pas.

En général, j'ai constaté, dans mes expériences, que la force d'adhésion des deux morceaux de glace et la rapidité avec laquelle elle se produit correspondent si bien à la pression employée, qu'il n'est pas possible de douter que la pression ne soit la cause réelle de cette union.

L'explication proposée par M. Faraday, d'après laquelle la régélation serait la suite d'une action de contact entre l'eau et la glace, présente, à mon avis, une difficulté théorique. Par la congélation de l'eau, une quantité de chaleur latente assez considérable doit être mise en liberté, et dans cette théorie il est impossible de prévoir ce qu'elle peut devenir.

Enfin, si la glace, pour se changer en eau, passait par un état intermédiaire de fluidité visqueuse, un mélange d'eau et de glace, maintenu, pendant des jours entiers, à une température de 0 degré, devrait finir par passer tout entier à cet état intermédiaire dès que toute sa masse aurait pris cette température d'une manière bien uniforme; c'est ce qui n'arrive jamais.

Quant à ce qu'on appelle la plasticité de la glace, M. James Thomson en a donné une explication qui ne repose pas sur la formation de fissures dans l'intérieur de la masse. Il est, en effet, évident que si une masse de glace supporte des pressions inégales sur différents points de sa masse intérieure, une partie de la portion la plus fortement comprimée est obligée de fondre; la glace moins comprimée et l'eau environnante fournissent la chaleur latente nécessaire. Ainsi, aux endroits comprimés, une partie de la glace disparaîtrait, tandis que l'eau se transformerait en glace aux endroits où la pression est moindre, et de cette manière la glace pourrait réellement se transformer et céder à la pression. Mais il est clair que, par suite de la mauvaise conductibilité de la glace, cette transformation serait excessivement lente si les couches de glace les plus comprimées et les plus froides, comme cela arrive dans les glaciers, se trouvaient à une grande distance de l'eau et des couches moins comprimées qui doivent leur fournir la chaleur nécessaire à la fusion.

Pour vérifier l'exactitude de cette théorie, j'ai placé dans un vase cylindrique de verre un petit cylindre de glace, d'environ 1 pouce de diamètre, entre deux plaques de glace plus grandes de 3 pouces de diamètre. Sur la plaque supérieure, j'ai placé une plaque de bois chargée d'un poids de 20 livres. De cette manière, la section du petit cylindre supportait une pression de plus d'une atmosphère. Tout le vase fut entouré de morceaux de glace et maintenu pendant cinq jours dans une chambre dont la température était seulement de quelques degrés au-dessus de zéro. Dans ces conditions, la glace soumise à la pression du poids devait fondre, et l'on pouvait s'attendre à trouver que le cylindre le moins gros sur lequel la pression s'exerçait le plus fondrait le plus vite. Il se forma bien un peu d'eau dans le vase, mais ce fut presque entièrement aux dépens des grosses plaques de glace qui se trouvaient à la partie inférieure et à la partie supérieure, et qui pouvaient le mieux recevoir de la chaleur du mélange d'eau et de glace extérieur, à travers les parois du vase de verre. Il se forma aussi un petit bourrelet de glace nouvelle autour des points de contact du petit cylindre avec la plaque inférieure, ce qui prouve que l'eau qui s'était fondue sous l'action de la pression s'est regelée à l'endroit où la pression cessait d'agir. Dans ces conditions, le morceau de glace intermédiaire qui avait supporté la plus grande pression n'avait pas encore subi un changement de forme appréciable.

Cette expérience montre que si, au bout d'un temps suffisamment long, il doit se produire un changement de forme de la manière indiquée par M. J. Thomson, la glace continuant à fondre aux points les plus comprimés et de la glace nouvelle se reformant aux endroits non soumis à la pression, ces changements ne peuvent se produire qu'avec une lenteur extrême, dès que l'épaisseur de la glace qui doit laisser passer la chaleur est appréciable. Un changement de forme considérable par la fusion, dans un milieu dont la température est partout égale à 0 degré, ne pourrait avoir lieu sans qu'il n'arrive de la chaleur soit du dehors, soit de la glace non comprimée et de l'eau; mais les différences de température qui interviennent dans ces phénomènes, jointes à la mauvaise conductibilité de la glace, rendraient l'arrivée de la chaleur excessivement lente.

Au contraire, les expériences sur la compression de la glace, décrites plus haut, montrent que dans la glace grenue la production des fissures et le déplacement des parois de ces fissures rendent possible un changement de forme. Les bandes que présente la glace glacière, son agrégation granuleuse qui apparaît pendant la fusion, la manière dont ses couches changent de position pendant le mouvement et d'autres faits

Digitized by Google

de ce genre prouvent clairement qu'il se produit de pareils changements de forme dans les glaciers. Je crois donc que M. Tyndall ne s'est pas trompé en voyant dans la formation des fissures et dans la régélation la cause réelle et principale du mouvement des glaciers.

Je rappellerai aussi qu'il doit se produire dans les grands glaciers une quantité considérable de chaleur de frottement. En effet, le calcul indique que lorsqu'une masse de glace descend du col du Géant jusqu'à la source de l'Arveyron, la quatorzième partie de sa masse peut se fondre sous l'action de la chaleur développée par le travail mécanique. Puisque le frottement est le plus grand aux points qui supportent la plus forte pression, il tend à enlever de préférence les parties de la glace qui ralentissent le plus le mouvement du glacier.

Je dirai, en terminant, que la structure grenue de la glace, dont j'ai parlé plus haut s'observe très-facilement dans la lumière polarisée. Si dans la forme de fer on comprime un petit morceau de glace transparente, on obtient, en le réduisant à une épaisseur de 5 millimètres, une plaque suffisamment transparente pour être examinée à la lumière polarisée. En plaçant cette lame dans l'appareil de polarisation, on voit dans son intérieur une grande quantité de petits champs et de petits anneaux. La disposition des couleurs permet de voir facilement les limites des grains de glace qui composent la plaque, et qui sont couchés pêle-mêle les uns à côté des autres, sans la moindre orientation dans leurs axes optiques.

L'aspect est à peu près le même au commencement de l'expérience, lorsque la glace vient de sortir de la presse, quand les fissures qui s'y trouvent apparaissent encore sous formes de lignes blanchâtres, et plus tard lorsque la fusion a rempli d'eau ces fissures.

Pour expliquer comment les différentes parties du morceau de glace restent adhérentes pendant que le morceau change de forme, il faut remarquer que dans la glace granuleuse les fentes ne produisent que des déchirures qui ne traversent pas la masse ; c'est ce qu'on voit directement en comprimant la glace. Les fentes se forment et courent dans tous les sens comme celles que l'on produit en touchant un tube de verre avec un fil métallique chaud. La glace possède une certaine élasticité, ainsi qu'on peut s'en assurer en courbant une lame de glace très-mince. Dans un bloc de glace ainsi fendillé, les parois des fentes peuvent donc se déplacer, même si elles sont encore réunies par la partie du bloc qui n'est pas fendue. Lorsque la partie de la fente qui s'est produite en premier lieu s'est fermée par régélation, la fente peut achever de s'ouvrir plus loin, sans que pour cela le bloc ait cessé un seul instant de former une masse unique. Il me semble aussi qu'il y a lieu de se demander si dans un morceau de glace comprimée ou de glace glacière, qui nous apparaît comme formée par une foule de grains de glace polyédriques enchevêtrés, les grains sont complétement séparés les uns des autres, même avant qu'on ait cherché à les séparer, ou s'ils ne sont pas plutôt réunis par des ponts de glace qui se rompent facilement, et si ce ne sont pas ces ponts qui produisent la cohésion, comparativement assez grande, de cette masse qui nous apparaît comme un agrégat de grains.

Les propriétés de la glace, que je viens de décrire, ont aussi un certain intérêt au point de vue de la physique, parce que la glace nous permet, mieux que tout autre corps, de suivre pas à pas le passage d'une substance cristallisée en corps grenu et d'étudier les causes dont dépend le changement de propriété qui résulte de cette transformation. La plupart des corps ne présentent pas d'arrangement cristallin régulier, et cependant nos considérations théoriques ne se rapportent qu'à des corps cristallisés et parfaitement élastiques. C'est sous ce rapport que le passage de la glace cristallisée, cassante et élastique à l'état de glace grenue et plastique me paraît un exemple très-instructif.

Traduit sur le texte et avec l'approbation de M. HELMHOLTZ par FELTZ.

Lettre de M. Tyndall, au sujet de la leçon de M. Helmholtz sur la glace et les glaciers (1).

M. Helmholtz a eu l'obligeance de m'envoyer une brochure intitulée : *Lectures scientifiques populaires;* j'ai lu avec un grand plaisir dans la préface de cette brochure, que d'autres discours, du même genre que ceux qui sont livrés aujourd'hui au public, seront publiés plus tard. La brochure actuelle renferme quatre discours, une première : *De la relation des sciences naturelles avec la science en général*, une seconde *Sur les travaux scientifiques de Gœthe*, une troisième *Sur l'origine physiologique de l'harmonie musicale*, enfin une quatrième *Sur la glace et les glaciers*. La brochure est écrite en allemand, et il est à désirer que quelque personne compétente en entreprenne la traduction en anglais.

Avec un empressement facile à comprendre, j'ai porté mon attention sur le dernier discours pour voir comment mes idées et mes expériences sur la formation et sur le mouvement des glaciers ont été envisagées par un savant aussi éminent. Comme il est difficile de douter que cette question n'intéresse beaucoup de vos lecteurs, je vais essayer de vous donner un aperçu de la partie scientifique de ce discours.

M. Helmholtz attribue le froid qui règne dans les régions élevées de l'atmosphère aux causes généralement admises ; mais il ajoute une remarque qui a une grande importance en ce moment où l'on discute tant sur l'origine de ce vent chaud qui porte le nom de *Foehn*, en Suisse. Ce vent, comme M. Helmholtz l'observe avec raison, n'est pas seulement un vent froid sur le haut des montagnes, il y est même *humide*. Il perd son humidité sur les hauteurs, et il s'échauffe ensuite en tombant dans les vallées. La chaleur et la sécheresse du Foehn ne prouvent donc pas du tout que son origine soit dans le Sahara et non dans l'océan Atlantique.

On se rappelle probablement que j'ai déduit l'explication de la formation des glaciers et de leur mouvement à travers les vallées de largeur et d'inclinaison variables, de ce fait que, si l'on presse l'un contre l'autre deux morceaux de glace, ils se soudent par leurs points de contact. Ce fait m'a été communiqué verbalement par M. Faraday qui l'a découvert. Bientôt après et longtemps avant d'avoir eu occasion de réfléchir aux causes de ce fait, l'application qu'on peut en faire à l'explication de la formation et du mouvement des glaciers se présenta à mon esprit. Il y avait en ce moment-là de la neige dans la cour de Royal Institution; j'en mis une certaine quan-

(1) Cette lettre écrite en anglais par M. Tyndall était adressée au directeur du *Philosophical Magazine*.

Digitized by Google

tité dans un des moules d'acier qui m'avaient servi à démontrer l'influence de la pression sur les phénomènes magnétiques, je comprimai la neige et j'eus le plaisir de retirer du moule un cylindre de glace transparente. Je courus immédiatement rejoindre M. Faraday pour lui dire que j'étais convaincu que sa petite expérience allait servir de base à la véritable théorie des glaciers. J'appris plus tard que MM. Schlagentweit avaient fait une expérience analogue avec de la neige; mais ils n'en avaient pas tiré les conclusions qui sautèrent à mes yeux, et qui depuis ont été développées et forment une théorie du mouvement des glaciers.

La figure 159 représente le moule que j'ai employé dans l'expérience dont je viens de parler. BB est la base du moule; AA un cylindre creux qui peut entrer dans la base; CC est le piston solide qui sert à comprimer la neige. Lorsque la neige est suffisamment comprimée on enlève le fond BB, et à l'aide du piston, on pousse au dehors le cylindre de glace. Ce moule ressemble complétement à celui qui a été employé par M. Helmholtz.

On connaît trop bien, pour qu'il soit nécessaire de les rappeler, les expériences qui suivirent celle-ci et qui consistaient à mouler la glace dans des formes variables sous l'influence de la pression. En appliquant ces résultats à la théorie des glaciers, j'ai eu soin d'insister d'une manière toute spéciale sur ce fait, que si la glace possède à un haut degré le pouvoir de se mouler sous l'action de la *pression*, elle est complétement privée du pouvoir de céder en s'allongeant sous l'action d'une force de *tension*. Voici comment M. Helmholtz s'exprime sur ce point : « M. Tyndall a affirmé et a prouvé par le calcul et l'observation que la glace glacière ne s'allonge pas du tout lorsqu'elle est soumise à une tension, que sous l'action d'une tension suffisante elle casse toujours »; il ajoute plus loin que la propriété ainsi constatée établit une différence essentielle entre un fleuve de glace et un fleuve de lave, de goudron, de miel ou de boue.

Les splendides expériences que M. Tresca a faites tout récemment prouvent de la manière la plus frappante la propriété que possède la glace de se mouler sous l'action de la pression. M. Helmholtz a montré par des expériences variées cette propriété de la glace à ses auditoires de Heidelberg et de Francfort. Il a transformé de la neige et des morceaux de glace en gâteaux et en cylindres; unissant bout à bout un certain nombre de ces cylindres, il les a laissés se souder et en a formé un bâton de glace. Plaçant ensuite un cylindre de glace de la forme indiquée par la figure 160 dans un moule convenable, il le comprima et en fit un gâteau représenté par la figure 161. En réalité, il a corroboré par une série d'expériences brillantes imaginées par lui les résultats que j'avais primitivement obtenus.

Quant à l'application de ces résultats au phénomène des glaciers, M. Helmholtz, après s'être assuré par lui-même de l'insuffisance des autres hypothèses, exprime ainsi sa conviction : « Je ne doute pas que M. Tyndall n'ait indiqué la cause essentielle et principale du mouvement des glaciers, en l'attribuant à la rupture et à la régélation de la glace. »

Il sera peut-être utile de remarquer que le mot régélation fut introduit pour la première fois dans un mémoire publié par M. Huxley et moi, plus de sept ans après la découverte du fait même par M. Faraday, et qu'il nous fut indiqué par le docteur Hookes, actuellement directeur des Royal Gardens à Kew. Comme je l'ai déjà fait remarquer, la formation et le mouvement des glaciers et d'autres phénomènes de même nature, avaient été rapportés à la régélation longtemps avant que je me sois occupé de la cause même de la régélation. Cette question n'est pas même indiquée dans le mémoire dans lequel la théorie de la regélation a été développée pour la première fois. C'est une question de même nature, mais toute différente. En rapportant le mouvement des glaciers à un fait démontré expérimentalement, je n'ai fait que le rapporter à sa cause *voisine*. Chercher à rapporter cette cause à *ses* antécédents physiques forme l'objet d'une investigation distincte dans laquelle je n'ai pris qu'une part comparativement très-petite par suite de ma foi dans l'exactitude substantielle de l'explication de M. Faraday.

Cinq personnes se sont plus ou moins occupées de cette question. M. Faraday, M. Forbes, M. James Thomson, M. William Thomson et moi. M. James Thomson explique la régélation en se fondant sur une conséquence importante déduite de la théorie mécanique de la chaleur, en premier lieu par lui, et presque simultanément par M. Clausius. Il a montré qu'il résulte de cette théorie que la température de congélation de l'eau doit s'abaisser sous l'action de la pression; cela veut dire que de l'eau soumise à une certaine pression restera liquide à la température à laquelle elle se solidifierait si cette pression était enlevée. Cette déduction théorique a été confirmée d'une manière remarquable par les expériences de son frère, le professeur William Thomson. Voici comment la théorie de M. Thomson rend compte de la régélation : « Lorsque deux morceaux de glace sont pressés l'un contre l'autre ou placés l'un sur l'autre, leurs parties comprimées se liquéfient. L'eau ainsi produite a rendu latente une portion de la chaleur de la glace environnante, et par conséquent sa température se sera abaissée au-dessous de 0°. En cessant d'être comprimée, cette eau se regèle et soude les deux morceaux de glace. » J'ai toujours admis que cette explication se fonde sur une « cause vraie ». Mais en considérant la grandeur infinitésimale de la pression suffisante pour produire la régélation, j'ai pensé avec M. Faraday et M. Forbes, que cette cause était insuffisante. M. James Thomson fonda sur sa théorie de la régélation une théorie du mouvement des glaciers, dans laquelle il attribue les changements de forme que subit le glacier à la liquéfaction incessante de la glace aux points où la pression est exercée, et à la congélation de l'eau ainsi produite sur les autres points. J'ai essayé autrefois de montrer que cette théorie était inapplicable à l'explication des faits. M. Helmholtz a récemment soumis cette théorie au contrôle de l'expérience, et les conclusions qu'il a tirées de ses recherches sont identiquement les mêmes que les miennes.

Ainsi, les vues de M. Helmholtz sont d'accord avec les miennes, sur l'impossibilité dans laquelle se trouve la glace de s'étendre sous l'influence de la tension, et la propriété qu'elle a de prendre toutes les formes sous l'action de la pression, — sur la différence essentielle qui existe entre un glacier et un fleuve de lave, de miel ou de goudron, — sur la suffisance de la pression et de la régélation pour rendre compte de la formation des glaciers, sur la suffisance de la cassure et de la régélation pour rendre compte de leur mouvement, enfin sur l'insuffisance de la théorie qui attribue ce mouvement à la liquéfaction par pression et à la récongélation.

Mais en il est tout autrement lorsqu'il s'agit de la cause même

Digitized by Google

de la régélation. M. Helmholtz comme M. Jamin (1), accepte l'explication claire et définie de M. James Thomson comme la plus satisfaisante de toutes celles qui ont été avancées; et il fonde son choix sur une expérience tellement belle qu'elle ne peut manquer de faire plaisir, même à ceux contre l'opinion desquels elle est faite. Mais avant de passer à l'expérience qui est décrite dans une note ajoutée à la leçon, il sera bon de citer les paroles mêmes par lesquelles M. Helmholtz exprime son opinion dans le cours de la leçon.

« Vous me demanderez sans doute avec surprise, dit-il, comment il se peut que la glace, de toutes les substances connues la moins flexible et la plus cassante, puisse couler dans un glacier comme une substance visqueuse?.... » (Voyez, ci-dessus, *Conférence de M. Helmholtz*, p. 440, 2e col.)

Dans la note, M. Helmholtz revient à la question ainsi traitée dans le discours. « La théorie de la régélation de la glace, dit-il, a donné naissance à une discussion scientifique entre M. Faraday et M. Tyndall d'un côté, et MM. James et William Thomson de l'autre. Dans le texte de ce discours, j'ai adopté la théorie de ces derniers, et je vais donner les raisons qui m'y ont porté. » Il analyse ensuite les raisons données de part et d'autre, fait ressortir les difficultés théoriques qui résultent de l'explication de M. Faraday, montre l'effet que peut produire une faible pression si on la laisse agir pendant longtemps, et appelle l'attention sur ce fait, que lorsqu'un morceau de glace est placé sur un autre, la pression n'est pas distribuée sur la totalité des surfaces superposées, mais qu'elle est concentrée sur quelques points de contact. Il pense aussi avec M. James Thomson, que dans l'expérience faite par M. Forbes, l'attraction capillaire exercée entre les deux plaques est suffisante pour produire la regélation. Pour montrer l'action lente des petites différences de température qui entrent en jeu dans ce cas, M. Helmholtz fait l'expérience suivante à laquelle j'ai déjà fait allusion.

« Pour faire ressortir cette action lente, dit-il, produite par de faibles différences de température, j'ai fait l'expérience suivante : J'ai rempli, etc... » (Voyez, ci-dessus, *Note ajoutée à la conférence de M. Helmholtz*, p. 445, 2e col.)

J'aurais aimé voir la belle expérience de M. Helmholtz, remplir une simple condition de plus, — j'aurais voulu que l'eau dans laquelle le ballon était plongé fût purgée d'air par l'ébullition, absolument comme l'eau qui se trouve dans le ballon. Il se peut justement que le point de congélation ne soit pas complétement indépendant de la présence de l'air dans l'eau.

Comme la question de la régélation a été remise sur le tapis par M. Helmholtz, j'ai fait quelques nouvelles expériences sur le moulage et la régélation de la glace. L'expérience suivante fait ressortir ces deux propriétés de la glace : une certaine quantité de poudre de glace fut raclée de la surface d'un morceau de glace transparente, et placée dans un moule de buis, d'une forme semblable à celle du pied d'un verre à bordeaux. On comprima la poudre de glace à l'aide d'une presse hydraulique, et l'on obtint une masse de glace transparente reproduisant la forme du moule. Dans un autre moule on fit, à l'aide de la même poudre, trois petits cylindres de glace transparente. Enfin, dans un troisième moule, on fit une coupe de glace transparente. Plaçant ensuite ces morceaux l'un au-dessus de l'autre, on les souda par régélation, et l'on obtint ainsi un véritable verre à bordeaux de glace dont on pouvait boire quelques gorgées de vin si l'on avait soin de refroidir suffisamment le liquide avant de l'y verser.

On trouve des moules de cuivre servant à la fabrication des fleurs, et qui se prêtent admirablement bien à la régélation de la glace. M. Becker m'en a procuré un. En y comprimant de la poudre de glace, j'ai obtenu par la régélation une masse solide possédant exactement la forme du moule.

J'ai placé un petit morceau de glace dans de l'eau chaude en le forçant à plonger sous le poids d'un deuxième morceau de glace. La portion submergée était si petite que la pression verticale était à peu près infinitésimale. Il se souda néanmoins à la surface inférieure du morceau de glace supérieur. Deux morceaux de glace furent placés dans un vase d'eau chaude de manière à pouvoir se toucher. Ils se soudèrent dès qu'ils se touchèrent. Les parties qui entouraient les points de contact fondaient rapidement, mais les deux morceaux continuèrent pendant un certain temps à rester unis par un étroit pont de glace. Le pont finit par fondre aussi, et les deux morceaux restèrent un moment séparés. Mais on sait que deux corps qui sont mouillés par l'eau et contre la surface desquels l'eau s'élève sous l'action de la capillarité se rapprochent lorsqu'on les fait nager ensemble à la surface de l'eau. Les morceaux de glace se rapprochèrent donc, et immédiatement la régélation eut lieu. Un nouveau pont se forma, il fondit à son tour, et les deux morceaux se séparèrent. Il se produisait ainsi une espèce de pulsation entre les deux morceaux de glace. Ils se touchaient, se soudaient; un pont se formait et fondait en laissant un intervalle entre les deux morceaux. L'intervalle diminuait de nouveau, ils se touchaient, se soudaient, la même série de phénomènes se succédant et se succédant toujours. Nous trouvons ici l'explication de ce curieux fait que lorsqu'on place quelques gros morceaux de glace dans l'eau chaude et qu'ils viennent à se toucher, la régélation les maintient réunis jusqu'à leur entière fusion. Les derniers morceaux peuvent à la fin ne plus être la centième partie de ce qu'ils étaient à l'origine; pendant l'accomplissement de la série de phénomènes que je viens de décrire, ils sont toujours réunis jusqu'à ce qu'ils finissent par disparaître. Ce qui est vrai pour des morceaux de glace nageant dans un bassin d'eau est aussi vrai pour les blocs de glace du lac Maerjelen, et probablement, si l'attention était portée sur ce sujet, le jeu de la régélation pourrait être observé sur les montagnes de glace de l'Océan. Avec une certaine dose d'habileté, on pourrait faire de curieuses observations sur la régélation des glaces flottantes.

D'après la théorie de M. James Thomson, pour que la régélation ait lieu, les morceaux de glace doivent exercer une certaine pression l'un contre l'autre, enlever à la glace voisine la chaleur nécessaire à la liquéfaction de la partie comprimée; ensuite l'eau s'échappe et se regèle. Tout cela demande du temps. Dans les expériences précédentes, l'eau liquéfiée par la pression se perd dans l'eau chaude environnante; malgré cela, les morceaux de glace flottants sont regelés en un instant. Il n'est pas nécessaire que les surfaces de contact soient planes; car dans ce cas une couche d'eau à 0° peut être supposée exister entre elles. Les surfaces de contact peuvent être convexes; les points qui se touchent peuvent être virtuels, recouverts complétement par le liquide chaud qui les dissout rapidement pendant qu'ils s'approchent.

(1) *Traité de physique*, vol. II, p. 105.

Digitized by Google

Et cependant ils se soudent immédiatement lorsqu'ils se touchent.

M. Helmholtz insiste sur deux points : l'un est favorable à l'hypothèse qu'il a adoptée et l'autre montre une difficulté inhérente à l'explication de M. Faraday; je vais en dire quelques mots. « Je trouve, » dit M. Helmhotz, « que la rapidité et la force de l'union des morceaux de glace correspondent si complétement à la pression employée, que je ne puis douter que la pression ne soit réellement la cause suffisante de cette union. »

Mais conformément à l'explication de M. Faraday, la force et la rapidité de la régélation doivent aussi aller de pair avec la grandeur de la pression employée. M. Helmholtz insiste avec raison sur ce fait que les surfaces en contact ne sont pas parfaitement unies, mais qu'elles ne se touchent en réalité qu'en quelques points, ce qui concentre l'effet de la pression. La pression exercée sur deux morceaux de glace à la température de 0° n'a pas seulement pour effet de diminuer l'épaisseur de la pellicule liquide qui se trouve entre les deux morceaux, elle aplatit les points de contact et répand ainsi la pellicule d'eau sur une plus grande surface. Ainsi donc, dans les deux théories, la force et la rapidité de la régélation doivent correspondre à la grandeur de la pression.

La difficulté dont j'ai parlé plus haut est constatée en ces termes par M. Helmholtz : « Dans l'explication donnée par M. Faraday, et d'après laquelle la régélation serait produite par une action de contact entre l'eau et la glace, il se manifeste une difficulté théorique. Par la congélation de l'eau une quantité de chaleur très-sensible est mise en liberté; et l'on ne sait point ce qu'elle devient. »

Les partisans de l'explication donnée par M. Faraday doivent répondre que la chaleur rendue libre se diffuse à travers la glace voisine. Mais à cela on peut sans doute objecter que la glace se trouvant déjà à la température de 0 degré ne peut absorber une nouvelle quantité de chaleur sans se liquéfier. Si cela est vrai dans toutes les circonstances, l'explication de M. Faraday doit évidemment être rejetée. Mais l'essence même de cette explication semble être que les portions intérieures de la masse de glace ont besoin pour fondre d'une température plus élevée que les couches de la surface. Pour me faire bien comprendre, faisons passer un faisceau de chaleur solaire ou un faisceau de lumière électrique à travers un morceau de glace. La glace se résout en fleurs liquides à six pétales qui ont été décrites ailleurs. Les fleurs s'étendent lorsque le faisceau continue à agir, l'énergie de la portion du faisceau qui est absorbée est tout entière employée à élargir les fleurs formées pendant les premières secondes, et non à en former de nouvelles. La théorie de M. Faraday implique l'idée que les fleurs ne peuvent apparaître dans la masse sans que la température des parties intérieures ait été élevée au-desssus de 0°, tandis qu'à la surface la glace fond à cette température. Si donc deux surfaces de glace humides à la température de 0° sont pressées l'une contre l'autre, et si, en vertu de l'action de contact supposée par M. Faraday, la couche d'eau qui les sépare se gèle, la glace adjacente (qui est maintenant à l'intérieur et non plus à la surface comme au commencement) est dans de bonnes conditions pour enlever par conduction et sans préjudice pour sa solidité la faible quantité de chaleur produite. Si l'on admet donc l'action de contact supposée par M. Faraday, il ne semble pas qu'il y ait de difficulté à rendre compte de la chaleur devenue libre par la congélation de la pellicule humide.

Lorsque l'année est avancée, lorsque la glace importée à Londres est restée pendant longtemps dans les glacières et qu'on l'examine ensuite soigneusement, on trouve des parcelles d'eau liquide dans l'intérieur de la masse. J'ai enveloppé dans une feuille d'étain, de la glace contenant de ces parcelles d'eau, et je l'ai placée dans un mélange réfrigérant jusqu'à ce que les parcelles liquides aient été parfaitement congelées. Enlevant alors la glace du mélange réfrigérant, je la plaçais dans une chambre noire en la laissant recouverte de son enveloppe ; après l'avoir exposée pendant quelques heures à une température un peu supérieure à 0°, je trouvais de nouveau les parcelles liquides. La chaleur qui était suffisante pour fondre cette glace intérieure passait à travers les couches extérieures sans le moindre préjudice pour leur solidité. Mais si la température de congélation des particules de glace était de 0° centigrade, la température de congélation de la masse environnante devait être au-dessus de 0° ,ce qui est conforme à l'explication de M. Faraday.

En décrivant la belle expérience que j'ai rappelée, M. Helmholtz constate que l'eau privée d'air peut descendre sans geler à une température beaucoup plus basse que 0° ; si au contraire, un morceau de glace se trouve dans la même eau la température ne peut baisser, elle reste toujours à 0°. Ceci prouve certainement que la glace possède un pouvoir spécial de solidification sur l'eau. Il est nécessaire de dire que le fait est général, qu'un cristal d'un sel quelconque placé dans une solution saturée de ce sel, provoque toujours la cristallisation. En appliquant ce fait à la pellicule d'eau très-mince maintenue entre ces deux surfaces comprimées, il me semble excessivement probable que l'action de contact de M. Faraday consiste en ce que la pellicule gèlera et soudera les morceaux de glace.

Je crois que l'observation suivante mérite d'être rappelée même en dehors de la présente discussion. On sait qu'en fondant, la glace se désagrége de manière à former des prismes grossiers dont les axes sont perpendiculaires au plan de la surface de congélation. J'ai souvent observé ce fait sur une large échelle pendant les hivers que j'ai passés comme étudiant sur les bords de la Lahn. La manière dont ces prismes sont formés dans quelques cas est extrêmement intéressante. En les examinant de près, on observe une espèce de trouble à l'intérieur d'une masse qui paraît être de la glace parfaitement transparente, ce trouble paraît dû à des stries perpendiculaires à la surface de congélation, et si l'on dirige la vue perpendiculairement à cette surface, les extrémités des stries deviennent apparentes; les espaces libres entre les stries sont formés de glace transparente qui ne présente aucun trouble. Les objets qui produisent ce trouble sont excessivement fins, mais lorsqu'on les examine soigneusement, on reconnaît que ce sont des piles de fleurs liquides très-petites, dont les plans sont à angle droit avec la direction des stries.

Depuis que j'ai écrit ce qui précède, j'ai reçu une copie d'un discours prononcé par M. de la Rive à l'ouverture de la quarante-neuvième réunion de la Société helvétique, qui a eu lieu cette année à Genève. De ce remarquable résumé de nos connaissances actuelles sur les glaciers, je fais les extraits suivants qui, joints à ce que je vous ai dit de la leçon de

Digitized by Google

M. Helmholtz, montreront suffisamment comment le sujet est envisagé aujourd'hui par les hommes compétents !

« Telle est, dit M. de la Rive, la description des phénomènes des glaciers, il me reste maintenant à les expliquer, à interroger l'observation et à en déduire le caractère fondamental du phénomène. L'observation nous apprend que la pesanteur est la force motrice, et que cette force agit sur un corps solide — la glace — en lui communiquant un mouvement lent et continu. Qu'en conclurons-nous? que la glace est un corps solide qui possède la propriété de couler comme une substance visqueuse, — conclusion qui paraît très-simple mais qui n'en a pas moins été exprimée pour la première fois, il y a vingt-cinq ans, par un des physiciens les plus distingués, par M. James Forbes. Cette théorie, car c'est bien une théorie, se fondant sur des faits aussi nombreux que bien observés, énonce ce principe : que la glace possède les propriétés caractéristiques appartenant aux corps plastiques. Quoique M. Forbes ne l'ait pas prouvé directement, il lui revient toujours le grand mérite d'avoir insisté sur la plasticité de la glace avant que M. Faraday, en découvrant le phénomène de la congélation, eût permis à M. Tyndall de prouver que cette plasticité est réelle, au moins en partie.

» L'expérience de M. Faraday est devenue classique et n'est pas étrangère à notre sujet. Elle consiste, comme vous le savez, en ce que deux morceaux de glace mis en contact dans de l'eau, même dans de l'eau chaude, se soudent ensemble. M. Tyndall vit très-vite l'application de l'expérience de M. Faraday à la théorie des glaciers; il comprit que si des morceaux de glace peuvent ainsi se souder ensemble, cette substance peut être cassée, placée dans un moule, comprimée et ainsi forcée à prendre la forme de la cavité qui la contient. Un moule de bois, par exemple, embrasse une cavité sphérique; en y plaçant des fragments de glace et en les comprinant nous obtenons une sphère de glace; en plaçant cette sphère dans un second moule à cavité lenticulaire et en la comprimant, nous transformons la sphère en une lentille. De cette manière, nous pouvons faire prendre à la glace une forme quelconque.

» Telle est la découverte de M. Tyndall, elle peut bien être appelée ainsi, surtout si l'on en considère les conséquences. Car tous ces moules agrandis deviennent les bords des vallées dans lesquels coule le glacier. Ici l'action de la presse hydraulique qui a servi aux expériences du laboratoire est remplacée par le poids des masses de neige et de glace accumulées sur les sommets et exerçant leur pression sur la glace qui descend dans la vallée. Supposons, par exemple, qu'il existe entre le moule sphérique et le moule lenticulaire une série graduée d'autres moules, dont chacun diffère un peu de celui qui le précède et de celui qui le suit, et qu'on puisse forcer la masse de glace à passer successivement à travers tous ces moules, le phénomène deviendra continu. Au lieu de casser brusquement, la glace serait amenée à passer par degrés insensibles de la forme sphérique à la forme lenticulaire. Elle montrerait ainsi une plasticité comparable à celle de la cire molle. Mais la glace est seulement plastique sous la *pression*; elle n'est pas plastique sous la *tension*; et c'est là le point important que la vague théorie de la plasticité était incapable d'expliquer. Un corps visqueux comme du bitume ou du miel, peut être tiré en filaments sous l'action de la tension; la glace, au contraire, loin de s'étirer ainsi, se casse comme du verre. Ces points une fois bien établis par M. Tyndall, il lui devint facile d'expliquer le mécanisme des glaciers et de démontrer, avec le secours d'un géomètre anglais, M. William Hopkins, que la direction des crevasses des glaciers est une conséquence nécessaire de leur mouvement. »

Je viens de recevoir un moule construit par l'habile et intelligent mécanicien, M. Becker, et hier (16 novembre), j'ai fait avec ce moule une expérience qui, par la facilité avec laquelle elle peut être répétée, intéressera tous ceux qui cherchent à montrer d'une manière frappante et instructive les effets de la régélation. Le moule consiste en deux pièces de fer fondu qui peuvent se superposer et sont maintenues par un rectangle d'acier glissant sur elles. La face intérieure de chacune de ces plaques porte en creux un demi-anneau communiquant avec un tuyau demi-cylindrique. Lorsqu'on superpose donc ces deux plaques, elles forment à l'intérieur du moule un anneau complet de quatre pouces de diamètre extérieur et de trois quarts de pouce d'épaisseur, communiquant avec un conduit cylindrique d'un pouce de diamètre, dans lequel peut entrer un piston d'acier poli. Deux petites chevilles placées sur la surface intérieure d'une des deux plaques et entrant dans des trous correspondants empêchent les deux plaques de glisser l'une sur l'autre.

Après avoir refroidi le moule en le plaçant pendant quelques instants dans un mélange d'eau et de glace, on fait entrer des fragments de glace dans le conduit cylindrique, et on les pousse dans l'anneau en enfonçant à coups de marteau le piston d'acier. En entrant dans l'anneau, les morceaux de glace ainsi brisés et écrasés se séparent en deux parties, l'une allant à droite, l'autre à gauche. Si l'on continue à enfoncer ainsi la glace dans le moule, celui-ci finit par se remplir. Enlevant alors le rectangle qui maintient les deux plaques, on ouvre le moule et l'on y trouve un anneau de glace parfait avec un appendice cylindrique. On peut souder par régélation les appendices de deux de ces anneaux. Il serait facile de construire ainsi une chaîne de glace. On peut employer la presse hydraulique pour faire cette expérience, mais elle n'est pas nécessaire; en frappant à coups de marteau sur le piston, on obtient facilement de magnifiques anneaux de glace par la régélation des fragments brisés.

Je terminerai par la description d'une expérience qui a été suggérée à mon ingénieux ami M. Duppa, par la vue des anneaux de glace dont je viens de parler; elle a été faite par lui dans le laboratoire de l'Institution royale. On verse une certaine quantité de plâtre de Paris dans un vase convenable, on pose l'anneau de glace sur cette substance et l'on place au-dessus de l'anneau une nouvelle quantité de plâtre. Celui-ci se prend en enfermant l'anneau dans son intérieur; l'anneau en fondant ensuite laisse un moule parfait. Quand ce moule est sec, on coule du plomb fondu dans le creux primitivement occupé par la glace et l'on produit ainsi un anneau de plomb. Mais la glace s'adapte à toutes les formes par le moulage : on peut former avec elle des statuettes, des vases, des fleurs et une quantité innombrable d'ornements. Ces objets de glace entourés de ciment par le procédé indiqué par M. Duppa, restent assez longtemps intacts pour permettre au ciment de se fixer sur eux; en fondant ils disparaissent en laissant derrière eux un moule parfait de plâtre, à l'aide duquel on peut reproduire des reliefs.

Traduit sur le texte anglais de M. TYNDALL
par FELTZ.

Digitized by Google

Lettre de M. Helmholtz à M. le Rédacteur en chef de la Revue des Cours scientifiques.

Heidelberg, 29 mai 1866.

Monsieur,

Vous me demandez si j'ai quelques observations à faire sur les expériences ingénieuses de M. Tyndall. Je vous ferai remarquer que les expériences faites avec les morceaux de glace flottant sur l'eau prouvent que des pressions excessivement petites suffisent pour souder deux morceaux de glace. Les forces qui dans ce cas exercent une pression entre les deux morceaux de glace sont, en partie la différence des poids spécifiques de la glace et de l'eau, en partie les attractions capillaires qui se produisent entre les deux morceaux qui flottent à la surface de l'eau. Il faut de plus remarquer qu'il suffira de ponts de glace beaucoup plus étroits pour retenir ensemble deux morceaux de glace nageant sur l'eau que deux morceaux de glace maintenus dans l'air; dans ce dernier cas, il est, en effet, très-difficile de les équilibrer aussi bien que dans l'eau.

La chaleur rayonnante qui traverse une masse de glace fait fondre de préférence certaines portions déterminées, situées dans l'intérieur de la masse ; on pourrait peut-être expliquer ce phénomène en admettant que dans ces positions plusieurs cristaux de glace se sont soudés en produisant ainsi une certaine pression. Si l'on fait regeler l'eau provenant de cette fusion, la pression locale se reproduit dans l'intérieur de la masse et un nouveau faisceau calorifique fera fondre ces mêmes portions, sans qu'il soit nécessaire qu'elles se trouvent à la surface.

D'après la théorie de M. Tyndall, la chaleur latente devenue libre aux points où deux morceaux de glace se soudent, doit se distribuer sur la glace voisine, et comme dans tous les cas la différence qui existe entre les points de fusion de la glace intérieure et de la glace extérieure est très-petite, il faut que cette chaleur se répande sur une masse de glace relativement considérable, si aucune portion de glace ne doit se fondre. La mauvaise conductibilité de la glace et la différence excessivement petite des températures des points de fusion me forcent à croire que cette explication est invraisemblable, dans les cas où la glace se soude si rapidement sous l'influence d'une forte pression, voire même sous l'influence d'un coup de marteau. J'avoue que jusqu'ici il est impossible de déterminer par un calcul exact le temps nécessaire à la transmission de la chaleur dans cette expérience, et que par suite la discussion ne peut pas encore être considérée comme terminée. Moi-même, je n'ai donné la préférence à la théorie de M. J. Thomson que parce qu'elle se fonde exclusivement sur des faits conus.

Agréez, etc. H. HELMHOLTZ.

(Traduit par Feltz).

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS.

PHYSIQUE MÉDICALE.

COURS DE M. GAVARRET (*).

Des images par réflexion et par réfraction.

II. — DES IMAGES PAR RÉFRACTION.

18. Dans les appareils dioptriques dont nous nous proposons d'étudier les propriétés, les surfaces réfringentes seront toujours ou des calottes sphériques d'une très-faible amplitude, ou des surfaces planes d'une très-petite étendue. Ajoutons que les centres des calottes sphériques seront tous situés sur une même droite appelée *axe principal* du système, et que les surfaces planes seront perpendiculaires à cet axe.

19. La théorie des appareils dioptriques exposée par Gauss et complétée par M. Listing se déduit facilement des propriétés de *quatre plans* perpendiculaires à l'axe principal, et des propriétés de *six points* appelés *cardinaux*, situés sur l'axe principal dans des positions qui dépendent des indices de réfraction et des épaisseurs des milieux transparents, en même temps que des rayons de courbure des surfaces de séparation de ces milieux.

Les six points cardinaux sont : les *deux foyers principaux*, les *deux points principaux* et les *deux points nodaux*.

Le *premier foyer principal* est le point *réel* ou *virtuel* où doivent se croiser les rayons incidents pour que les rayons émergents correspondants soient parallèles à l'axe principal.— Le *second foyer principal* est le point d'entrecroisement *réel* ou *virtuel* des rayons émergents lorsque les rayons incidents sont parallèles à l'axe principal.

Les *points principaux* jouissent de la propriété suivante : lorsqu'un rayon incident, prolongé s'il le faut, passe par le *premier point principal*, le rayon émergent correspondant, ou son prolongement, passe par le *second point principal*, mais le rayon incident et le rayon émergent *ne sont pas parallèles*.

Les *point nodaux* sont deux points de l'axe principal tels que, si un rayon incident, ou son prolongement, passe par le *premier point nodal*, le rayon émergent correspondant se confond avec une droite *parallèle* au rayon incident, menée par le *second point nodal*.—Ces deux rayons parallèles, l'un incident, l'autre émergent, s'appellent *lignes de direction* et jouent, dans les appareils dioptriques, le même rôle que les axes secondaires des miroirs courbes.

Les quatre plans perpendiculaires à l'axe principal que présente à considérer tout appareil dioptrique sont : les *deux plans focaux* et les *deux plans principaux*.

Les *plans focaux* passent par les deux foyers principaux; nous démontrerons que leurs propriétés sont analogues à celles du plan focal des miroirs courbes.

Les *plans principaux* passent par les points principaux et jouissent de la propriété suivante : si par le point où un rayon incident quelconque, ou son prolongement, perce le *premier plan principal*, on mène une parallèle à l'axe principal, le point où cette droite perce le *second plan principal* est nécessairement sur le trajet du rayon émergent correspondant ou

(*) Voy. le n° précédent, et d'autres leçons de M. Gavarret sur *la climatologie* dans les n°s 7, 8, 10, 12 et 15.

Digitized by Google

sur son prolongement. En d'autres termes, les directions d'un rayon incident quelconque et du rayon émergent correspondant percent le *premier* et le *second plan principal* en deux points situés du même côté et à la même distance de l'axe principal du système.

La *première distance focale* est l'intervalle qui sépare le *premier point principal* du *premier foyer principal*. — La *seconde distance focale* est l'intervalle qui sépare le *second point principal* du *second foyer principal*.

20. Comme nous le prouverons bientôt, lorsque la lumière n'a à traverser qu'une seule surface sphérique séparant deux milieux inégalement réfringents, les deux points principaux, et par suite les deux plans principaux, se confondent en un seul, en même temps que les deux points nodaux se superposent; on n'a alors à considérer que quatre points cardinaux et trois plans perpendiculaires à l'axe principal. — Ajoutons enfin que, dans certains appareils dioptriques, les points cardinaux se réduisent à quatre par le fait de la fusion des points nodaux avec les points principaux; nous verrons que c'est le cas d'une lentille placée dans l'air, ou plus généralement de tout système dioptrique dans lequel le premier et le dernier milieu ont le même indice de réfraction.

DES LENTILLES ET DES ASSOCIATIONS DE LENTILLES PLACÉES DANS L'AIR.

21. Tout rayon lumineux qui traverse une lentille éprouve deux réfractions successives et la direction du rayon émergent dépend de l'action de chacune des deux faces de l'appareil. Avant d'aborder l'étude des propriétés des lentilles, il est donc nécessaire de connaître l'influence d'une seule surface réfringente sur la marche de la lumière.

ACTION D'UNE SURFACE RÉFRINGENTE DANS LE CAS OU L'AIR EST UN DES DEUX MILIEUX TRANSPARENTS.

22. L'appareil dioptrique le plus simple que l'on puisse considérer se compose d'une surface séparant deux milieux transparents indéfinis dont l'un est l'air et l'autre une substance plus réfringente d'indice de réfraction n.

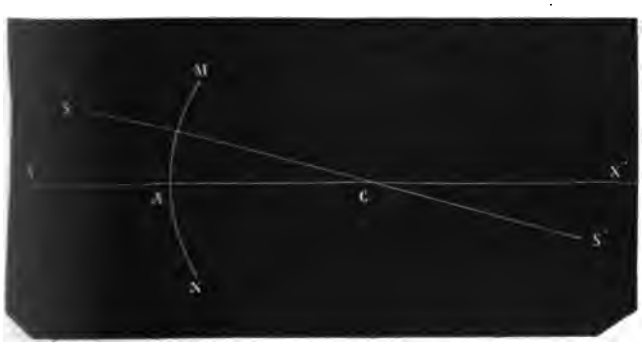


Fig. 164.

Soit MN (fig. 164), la calotte sphérique de très-faible amplitude qui sépare les deux milieux transparents. La droite indéfinie XX′ qui passe par son centre de figure A et son centre de courbure C est l'*axe principal*. — Un rayon incident qui se meut suivant cet axe est normal à la surface réfringente, et passe sans déviation suivant le prolongement de l'axe lui-même.

En raison de sa très-faible amplitude, la surface MN se confond sensiblement avec le plan tangent à son sommet A. Mais évidemment un rayon incident quelconque et le rayon réfracté correspondant percent *en un même point* la surface MN ou le plan tangent avec lequel elle se confond. Les *deux plans principaux* de ce système se réduisent donc à *un seul* qui est le plan tangent au sommet A de la calotte sphérique; par suite les *deux points principaux* se confondent avec ce même sommet A.

Par le centre de courbure C de la calotte sphérique, menons une ligne droite indéfinie SS′; un rayon incident qui se meut suivant cette droite est normal à la surface réfringente, et pénètre sans déviation suivant le prolongement de SS′. A tout rayon incident dont la direction passe par le centre de courbure C, correspond donc un rayon transmis qui passe aussi par le centre C et dont la direction est la même que celle du rayon incident. Les *deux points nodaux* de ce système se confondent donc avec le centre de courbure C.

Toute droite SS′ menée par le centre de courbure C, contenant à la fois un rayon incident et le rayon transmis correspondant est une *ligne de direction*; on l'appelle aussi *axe secondaire*.

Connaissant les points *nodaux* et *principaux*, nous n'avons plus qu'à chercher la position des *deux foyers principaux* pour compléter la détermination des éléments fondamentaux de ce système dioptrique simple. — Nous aurons plusieurs cas à considérer, car la modification qu'éprouve la direction d'un rayon lumineux varie suivant que la lumière passe de l'air dans le milieu le plus réfringent ou du milieu le plus réfringent dans l'air, et que la transmission s'opère à travers une surface convexe ou une surface concave.

1er cas. — *La lumière passe de l'air dans le milieu le plus réfringent à travers une surface convexe* MN.

23. Un rayon incident quelconque SI (fig. 165) parallèle à l'axe principal XX′ pénètre dans le second milieu suivant IR, en se rapprochant de la normale CC′ au point d'incidence, et coupe l'axe principal en un point F′ du côté de la lumière transmise; l'angle de réfraction F′IC est plus petit que l'angle d'incidence SIC′.

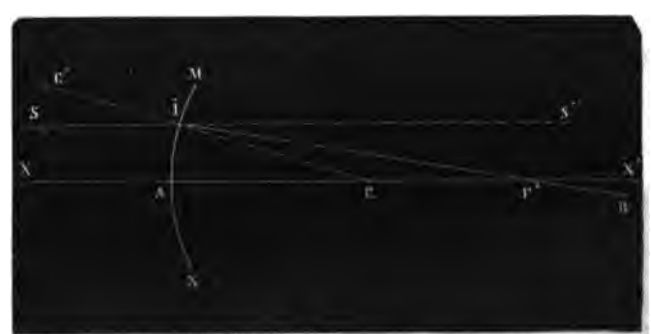


Fig. 165.

D'après les lois de la réfraction, le rapport des *sinus* des angles d'incidence et de réfraction est égal à l'indice de réfraction n du second milieu; nous avons donc :

$$\frac{\sin SIC'}{\sin F'IC} = n$$

Puisque SI est parallèle à XX′, l'angle d'incidence SIC′ et l'angle ACI sont égaux; d'ailleurs le *sinus* de l'angle ACI est égal

Digitized by Google

au *sinus* de son angle *supplémentaire* ICF′; nous avons donc :

$$\frac{\sin SIC'}{\sin F'IC} = \frac{\sin ICF'}{\sin F'IC} = n$$

Dans le triangle ICF′, les *sinus* des angles sont dans le rapport de côtés opposés à ces angles, donc :

$$\frac{\sin ICF'}{\sin F'IC} = \frac{IF'}{CF'}$$

Les premiers membres de ces deux équations sont identiques, les seconds membres sont donc égaux, et nous avons :

$$\frac{IF'}{CF'} = n$$

Mais, en raison de la très-faible amplitude de la surface MN, nous pouvons, sans erreur sensible, remplacer IF′ par AF′, d'où :

$$\frac{AF'}{CF'} = n$$

Or, CF′ = AF′ — AC; d'où, en désignant par la lettre r le rayon de courbure AC, CF′ = AF′ — r; ce qui donne en remplaçant :

$$\frac{AF'}{AF' - r} = n$$

D'où :

$$AF' = \frac{nr}{n-1}$$

Tant que la surface réfringente et les milieux qu'elle sépare ne changent pas, r et n sont des quantités constantes, et AF′ conserve la même valeur quelle que soit la position du point d'incidence I sur MN. Tous les rayons incidents parallèles à l'axe principal sont donc réfractés dans des directions telles qu'ils passent par un même point F′ de cet axe.

Ce point F′, foyer des rayons incidents parallèles à l'axe principal, est le *second foyer principal* du système; dans le cas actuel, il est *réel* ou situé du côté de la lumière transmise.

L'intervalle AF′ qui sépare le sommet A de la surface réfringente du second foyer principal F′ est la *seconde distance focale* du système; nous la désignerons par la lettre f'. Nous avons donc :

$$f' = \frac{nr}{n-1}$$

La distance CF′ du centre de courbure au second foyer principal est égale à AF′ — AC = $f' - r$. D'où :

$$CF' = \frac{r}{n-1}$$

24. Soit SI (fig. 166), un rayon incident tel que le rayon ré-

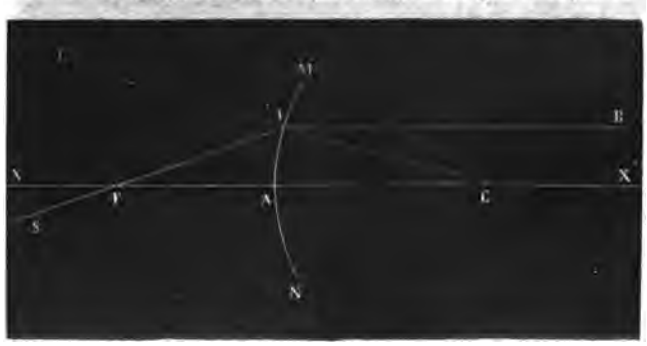


Fig. 166.

fracté correspondant IR pénètre dans le second milieu parallèlement à l'axe principal XX′. Ce rayon incident SI coupe l'axe principal au point F, en avant de la surface réfringente. Le rapport des *sinus* des angles d'incidence et de réfraction FIC′, RIC est égal à l'indice de réfraction n du second milieu. Mais l'angle RIC est égal à l'angle ICF; de plus, les angles FIC′, FIC sont *supplémentaires*, et par conséquent leurs *sinus* sont égaux; nous avons donc :

$$\frac{\sin FIC'}{\sin RIC} = \frac{\sin FIC}{\sin ICF} = n$$

Dans le triangle FIC, les *sinus* des angles sont dans le même rapport que les côtés opposés, ce qui donne :

$$\frac{\sin FIC}{\sin ICF} = \frac{FC}{FI}$$

Donc :

$$\frac{FC}{FI} = n$$

Mais, en raison de la très-faible amplitude de la surface MN, FI est sensiblement égal à AF; de plus FC = AF + AC = AF + r; donc en remplaçant dans la dernière équation :

$$\frac{AF + r}{AF} = n$$

D'où :

$$AF = \frac{r}{n-1}$$

Cette relation étant indépendante de la position du point d'incidence I sur la surface MN, il en résulte que tous les rayons incidents émanés du point F ainsi déterminé sont réfractés parallèlement à l'axe principal.

Ce point F est le *premier foyer principal* du système; dans ce cas il est *réel*, c'est-à-dire placé du côté de la lumière incidente. — AF est la *première distance focale;* nous la désignerons par la lettre f. Nous avons donc :

$$f = \frac{r}{n-1}$$

La distance CF du centre de courbure au premier foyer principal est égale à AF + AC = $f + r$. D'où :

$$CF = \frac{nr}{n-1}$$

25. En résumé, dans le cas où la lumière passe de l'air dans un milieu plus réfringent d'indice n, à travers une surface convexe :

1° Les deux foyers principaux F, F′ sont *réels*.

2° Les valeurs des distances focales sont :

1re distance focale : (1) $AF = f = \frac{r}{n-1}$

2e distance focale : (2) $AF' = f' = \frac{nr}{n-1}$

d'où l'on déduit :

$$\frac{f'}{f} = n$$

Le rapport de la *seconde* à la *première* distance focale est donc égal à l'indice de réfraction du milieu dans lequel se meut la lumière transmise par rapport au milieu dans lequel se meut la lumière incidente.

3° Les distances du *premier* et du *second foyer principal* au centre de courbure de la surface réfringente sont :

$$CF = f' = \frac{nr}{n-1}$$

$$CF' = f = \frac{r}{n-1}$$

Digitized by Google

La méthode géométrique que nous avons employée ne peut jamais donner que les valeurs absolues des distances focales f, f'. Pour que les formules indiquent les véritables positions des foyers principaux par rapport au sommet A de la surface réfringente, on convient de considérer les distances focales f, f' comme *positives* et de les affecter du signe *plus* quand les foyers sont *réels* ; dans le cas de foyers *virtuels*, les distances focales f, f' sont considérées comme *négatives* et affectées du signe *moins*.

26. *Plans focaux.* — Les plans TT, T'T' (fig. 167) perpendiculaires à l'axe principal, menés par les foyers principaux F, F', sont le *premier* et le *second plan focal* ; nous ne considérerons

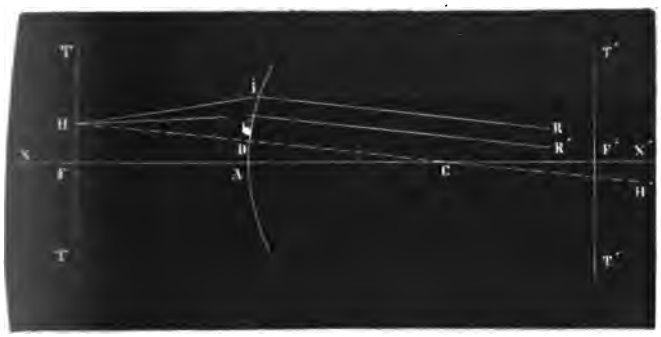


Fig. 167.

que les parties de ces plans voisines des foyers principaux F, F'. Dans ces limites d'étendue, on trouve que ces plans focaux jouissent de propriétés très-importantes.

1° Soit H (fig. 167) un point lumineux placé sur le premier plan focal. — Par le point H menons la *ligne de direction* ou *axe secondaire* HH'. Cette droite joue évidemment par rapport au point lumineux H le rôle d'un axe principal. De plus, le point lumineux H étant très-rapproché de F, la distance HD est sensiblement égale à la première distance focale AF, et H occupe sur HH' la position d'un premier foyer principal.

Donc, tous les rayons incidents HI, HI', fournis par un point lumineux H pris sur le premier plan focal, sont réfractés suivant IR, I'R' parallèlement à l'axe secondaire HH' mené par ce point lumineux. — Dans le cas particulier où le point lumineux H est au premier foyer principal F, les rayons réfractés sont parallèles à l'axe principal.

2° Soit SI (fig. 168) ou rayon incident quelconque peu incliné sur l'axe principal. — L'axe secondaire UU' parallèle à

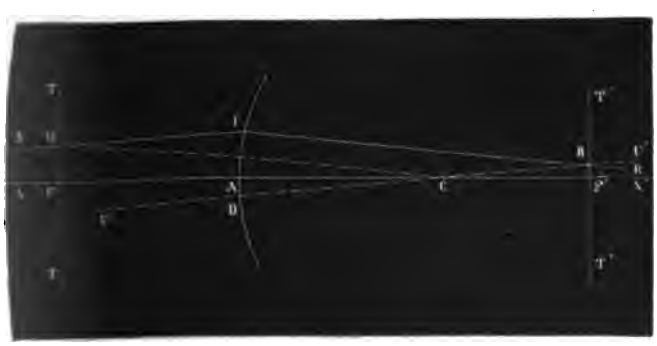


Fig. 168.

SI joue évidemment le rôle d'un axe principal par rapport à ce rayon incident. En second lieu, la distance DB est sensiblement égale à la seconde distance focale AF', et B occupe sur UU' la position d'un second foyer principal. Donc le rayon réfracté IR correspondant au rayon incident SI passe par le point B. Il en est évidemment de même de tous les rayons incidents parallèles à SI.

Lorsque la lumière incidente est composée de rayons parallèles entre eux, tous les rayons réfractés convergent donc sur le second plan focal au point B où ce plan est percé par l'axe secondaire parallèle aux rayons incidents. — Dans le cas particulier où les rayons incidents sont parallèles à l'axe principal, les rayons réfractés concourent au second foyer principal F'.

Il résulte de ces deux propriétés des plans focaux qu'un rayon incident quelconque SI et le rayon réfracté correspondant IR satisfont nécessairement aux conditions suivantes :

Le rayon réfracté IR passe par le point B où le second plan focal T'T' est percé par l'axe secondaire UU' parallèle au rayon incident SI. — En second lieu, le rayon incident SI peut être considéré comme fourni par un point lumineux placé en H au point où il perce le premier plan focal TT ; par conséquent le rayon réfracté IR est parallèle à l'axe secondaire HC mené par le point H. — Le quadrilatère HIBC formé par ces deux axes secondaires, le rayon incident et le rayon réfracté, est donc un parallélogramme.

27. *Foyer d'un point lumineux placé sur l'axe principal.* — Soit P (fig. 169), un point lumineux situé sur l'axe principal. Menons un rayon incident quelconque PI ; le rayon réfracté correspondant IR est facile à construire. Nous savons, en effet, qu'il est parallèle à l'axe secondaire HC et qu'il passe par le point B où le second plan focal est percé par l'axe secondaire CB parallèle à SI. Ce rayon réfracté coupe l'axe principal au point P'.

Les triangles semblables PHF, CBF' donnent :

$$\frac{PF}{CF'} = \frac{HF}{BF'}$$

D'autre part, les triangles semblables CHF, P'BF' donnent :

$$\frac{CF}{P'F'} = \frac{HF}{BF'}$$

Les seconds membres de ces équations sont identiques, les premiers membres sont donc égaux, d'où :

$$\frac{PF}{CF'} = \frac{CF}{P'F'}$$

D'où :

$$PF \times P'F' = CF' \times CF$$

Mais nous avons vu (25) que $CF' = AF = f$ et $CF = AF' = f'$, donc en substituant :

$$PF \times P'F' = ff'$$

Les distances focales f, f' sont des quantités constantes, par conséquent la distance P'F' ne dépend que de PF et reste la même pour tous les rayons incidents émanés du même point lumineux P. Le point P' est donc le foyer des rayons réfractés.

Lorsque la lumière incidente est fournie par un point lumineux P placé sur l'axe principal, les rayons réfractés sont donc *homocentriques* et leur point de croisement P' est lui-même sur l'axe principal.

En raison de la réciprocité des phénomènes de la réfraction, il est évident que, si le point lumineux était en P' dans le milieu le plus réfringent, les rayons réfractés émergeraient dans l'air de manière à converger en P. — Ces points P, P', liés par la relation $PF \times P'F' = ff'$, sont donc *réciproques* l'un de l'autre ; on les appelle *foyers conjugués*.

Désignons par la lettre l la distance PF du point lumineux

Digitized by Google

P au premier foyer principal F, et par la lettre l' la idstance P'F' de son foyer P' au second foyer principal F'; nous aurons en substituant dans la dernière équation :

$$(3) \qquad ll' = ff'$$

Telle est la forme la plus simple sous laquelle puisse se présenter la formule générale des foyers conjugués (*).

principal, il faut adopter les conventions suivantes : — La longueur l relative à la lumière incidente est comptée à partir du point F *positivement* à *gauche* et *négativement* à *droite* de F; — la longueur l' relative à la lumière transmise est comptée à partir de F' *positivement* à *droite* et *négativement* à *gauche* de F'.

Le second membre ff' de l'équation (3) est évidemment

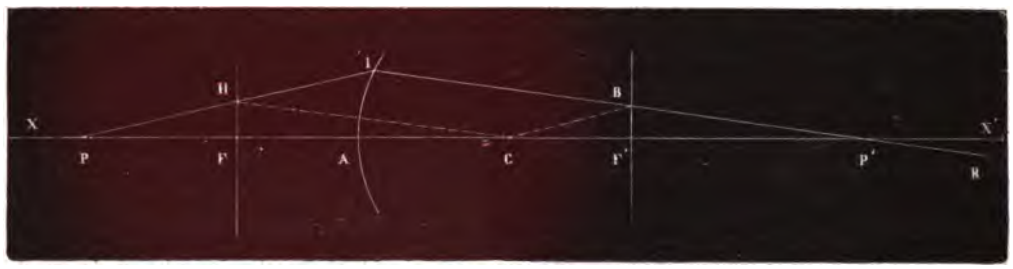


Fig. 169.

Pour que cette formule donne, dans tous les cas, les positions réelles du point lumineux P et de son foyer P' sur l'axe

positif; le signe de l' ne dépend donc que de celui de l, il en résulte que :

Tant que l est *positif*, c'est-à-dire tant que le point lumineux P est *réel* et à gauche du premier foyer principal F, l' reste *positif* et le foyer P', situé à *droite* du second foyer principal F', est *réel*.

Lorsque l est *négatif*, c'est-à-dire lorsque le point P *réel* ou *virtuel* est à droite du premier foyer principal F, l' devient aussi *négatif*, le foyer P' passe à *gauche* du second foyer principal F' et est *réel* ou *virtuel* suivant la valeur de l.

En adoptant pour la discussion de la formule (3) la méthode suivie à propos des miroirs concaves (9), on détermine sans difficulté, dans tous les cas possibles, les positions des foyers conjugués P, P' sur l'axe principal.

Cette discussion montre que ces foyers conjugués P, P' se déplacent toujours dans le *même sens*, le long de l'axe principal.

GAVARRET.

(*) On peut aussi compter toutes les distances à partir du sommet A de la surface réfringente. Si l'on désigne par la lettre p la distance AP du point lumineux P au point A, et par la lettre p' la distance AP' du point A au foyer P', on a :

$$l = PF = AP - AF = p - f$$
$$l' = P'F' = AP' - AF' = p' - f'$$

ce qui donne, en substituant dans l'équation (3) :

$$(p - f)(p' - f') = ff'$$

d'où

$$pf' + p'f = fp'$$

ou, en remplaçant f' par sa valeur nf,

$$npf + p'f = pp'$$

Enfin, en divisant tous les termes de cette équation par le produit $pp'f$, on obtient :

$$(a) \qquad \frac{n}{p'} + \frac{1}{p} = \frac{1}{f} = \frac{n-1}{r}$$

Telle est la formule classique des foyers conjugués. — Pour que cette formule donne, dans tous les cas, les véritables positions des points P, P' sur l'axe principal, on convient de compter p *positivement* à *gauche* de A du côté de la lumière incidente, et *négativement* dans le sens contraire ; p' est compté *positivement* à *droite* de A dans le sens de la lumière transmise, et *négativement* dans le sens contraire.

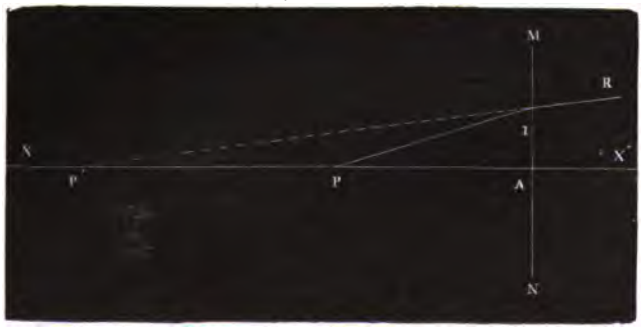


Fig. 170.

Transmission de la lumière à travers une surface plane. — Supposons que la lumière passe de l'air dans un milieu d'indice de réfraction n à travers une surface plane MN (fig. 170) de très faible étendue.

Soient P, le point lumineux ; XX', une perpendiculaire à la surface réfringente MN, menée par le point lumineux P.

Quelle que soit la valeur du rayon de courbure r de la surface réfringente, la formule (a) représente les positions des deux foyers conjugués; ses indications sont donc encore vraies lorsque r est *infini*, c'est-à-dire lorsque la surface réfringente est plane. Mais, dans ce cas, $\frac{n-1}{r} = 0$. Le foyer P' du point lumineux P (fig. 158) est donc déterminé par la relation :

$$(e) \qquad \frac{n}{p'} + \frac{1}{p} = 0 \text{ ou } p' + np = 0$$

dans laquelle $p = AP$, $p' = AP'$. — D'ailleurs p est compté *positivement* à *gauche* de A du côté de la lumière incidente, *négativement* dans le sens contraire ; p' est compté *positivement* à *droite* de A du côté de la lumière transmise, *négativement* dans le sens contraire.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE NUMÉRO 28 9 JUIN 1866

MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE.

ZOOLOGIE

(Annélides, Mollusques, Zoophytes).

COURS DE M. LACAZE-DUTHIERS.

VI

Position des Échinodermes et des Helminthes dans le règne animal.

Nous commencerons aujourd'hui l'étude des Échinodermes et des Helminthes qui doivent faire l'objet des cours de cette année.

Il y a, dans la réunion de ces deux groupes, une singulière coïncidence, et leur rapprochement peut paraître étonnant. Mais il faut en accuser uniquement les circonstances qui nous ont forcé de nous arrêter l'an dernier dans l'étude des Zoophytes, au moment où nous arrivions aux Échinodermes. Du reste, un savant zoologiste anglais, M. Huxley, a réuni récemment dans une même *catégorie primaire*, ou dans un même *sous-règne*, ces deux groupes si différents au premier abord. Il pourrait donc y avoir des raisons scientifiques plaidant en faveur de ce rapprochement. Mais tous les auteurs sont loin d'admettre cette opinion de M. Huxley, et en ce qui me concerne, elle n'est intervenue nullement dans la distribution de mon enseignement.

Le fait relatif au rapprochement de ces deux groupes par M. Huxley peut déjà vous montrer qu'on est encore bien loin de s'entendre sur la place exacte qu'il convient de leur assigner dans les classifications. En effet, les Helminthes et les Échinodermes, plus encore que les autres groupes d'animaux inférieurs, sont à tout moment déplacés par les zoologistes. Lors donc que l'on voudra commencer leur étude, il importera de se rendre compte de la position qui leur convient dans le règne animal. C'est cette première recherche qui fera le sujet de la leçon d'aujourd'hui; inutile pour la plupart des autres groupes, l'examen général des classifications devient presque forcé au début d'un cours sur les animaux inférieurs.

A quel point de vue doit-on se placer pour bien juger les classifications ?

Il en est des sciences comme de l'homme qui travaille à concourir à leur progrès : l'histoire des unes, comme la vie de l'autre, présente des époques diverses, à chacune desquelles correspond une impulsion particulière donnée au mode d'investigation et de recherches.

Dans une première époque, ou période des *faits*, le jeune naturaliste doit s'appliquer à recueillir des faits et des objets divers de travail. Une science qui commence ne fait pas autrement.

Puis vient l'époque des études détaillées, ce que l'on pourrait appeler la période des *monographies*. On ne veut plus seulement alors collectionner les faits qui arrivent de tous côtés; on veut que l'ensemble de ce qui se rapporte à un groupe particulier soit mieux connu; on se livre à l'étude complète d'une classe d'animaux bien déterminée. C'est alors aussi que l'on s'occupe des divisions à établir dans ce groupe bien connu.

Enfin arrive une troisième époque, la période des grandes coordinations, des *généralités*. Après avoir acquis ces notions complètes se rapportant à un être ou à un groupe déterminé, on veut, dominant les détails, former un corps de science de toutes ces observations éparses.

Telle est la marche logique et naturelle des sciences comme des travaux scientifiques des hommes. Pourquoi l'histoire de la science a-t-elle eu à enregistrer tant d'erreurs et de mécomptes ? C'est que le plus souvent on passe de l'une de ces périodes à l'autre sans transition. Après avoir recueilli quelques faits, trop souvent on se hâte de généraliser; parfois même on généralise en quelque sorte d'un premier jet, sans avoir étudié les faits, sans s'être occupé de rapprocher les matériaux nécessaires. Les rapides exposés historiques que nous venons de faire démontrent cette nécessité de procéder ainsi graduellement dans les recherches scientifiques.

En effet, nous avons vu de Lamarck et de Blainville, après avoir recueilli quelques faits, se hâter d'arriver aux considérations d'ensemble, sans se livrer à l'examen approfondi des observations qui leur servent de point de départ. De Blainville même, en certaines circonstances, aborde d'emblée la généralisation, et fait ensuite plier les faits devant une théorie préconçue. De là est souvent résultée l'erreur, beaucoup plus rarement la vérité.

M. Valenciennes, au contraire, reste à la première période : il accumule les faits, et n'en forme pas un faisceau; il n'en déduit pas les généralités qui eussent pu former un corps de science de toutes ces observations éparses. En agissant ainsi, il tombait dans une exagération dont nous avons trouvé l'origine dans ses rapports avec Cuvier.

Si, comme on l'a dit, nous pouvions penser une seconde fois la pensée de Dieu, les généralisations d'emblée seraient possibles. Mais il n'en est pas ainsi, et les conceptions générales qui n'ont pas pour base l'observation rigoureuse des faits, ne sont souvent que des rêveries qui n'apportent rien à la

(1) Voyez les numéros 16, 18, 19, 22 et 23.

Digitized by Google

science. Notre première leçon a été consacrée à vous montrer le danger des déductions à priori, alors même qu'elles semblent le plus légitimes.

On peut dire qu'aujourd'hui, pour certains groupes au moins du règne animal, nous sommes dans la période des monographies complètes, c'est-à-dire des études minutieuses et détaillées devant conduire à l'entière connaissance de chaque être observé. Pour que cette connaissance soit acquise à la science, il faut non-seulement une étude complète de l'animal à un moment donné de son existence; — on arriverait ainsi presque certainement à l'erreur; — mais il faût encore que le cercle d'évolution de l'être soit fermé, c'est-à-dire que partant de l'animal parfait et de l'œuf qu'il produit, on revienne à ce type adulte après avoir suivi le jeune dans toutes les phases de son développement, jusqu'à ce qu'il soit capable de produire à son tour un être nouveau soumis dans son développement aux mêmes lois embryogéniques.

Quand nous posséderons une série de documents complets sur les principaux types, alors les généralisations prendront une valeur qu'elles n'ont pas encore : elles seront justes parce qu'elles reposeront sur des données vraies.

Mais n'oublions pas non plus qu'il peut y avoir danger à exagérer la valeur des faits relatifs à l'embryogénie. C'est cette exagération qui a conduit Huxley à rapprocher les Échinodermes des Helminthes, en se basant sur certaines analogies dans le mode de reproduction.

L'histoire de la science reproduit fidèlement ces trois périodes que l'on doit retrouver dans la vie d'un naturaliste qui veut travailler d'une façon utile. Ici encore, à chacune de ces époques, nous retrouvons des différences dans le mode d'investigation; on peut même caractériser chacune d'elles par le nom de l'homme qui a le plus contribué à donner aux recherches scientifiques la direction spéciale dont elle est le résultat.

A la période des faits correspondent les systèmes, les classifications artificielles. Pour se reconnaître au milieu de tous ces faits dont la valeur réelle n'est pas encore connue, on est forcé d'établir un classement artificiel : le nom de Linné caractérise cette première période.

A la deuxième époque, celle des monographies, correspond le commencement, l'essai, en quelque sorte, de la méthode naturelle : Cuvier la représente.

Enfin, avons-nous dit, nous sommes aujourd'hui dans une troisième période, celle des monographies complètes, dont le résultat sera l'établissement de la méthode naturelle dans son ensemble et sa perfection. Il n'est pas encore possible de caractériser par un nom cette troisième époque; personne depuis Cuvier n'a fait encore une œuvre aussi capitale que le *Règne animal*. La science, au point de vue de l'étude complète et détaillée des êtres, se fait tous les jours, des progrès se réalisent sans cesse dans les différentes branches de la zoologie. Peut-être un génie nouveau viendra-t-il réunir en un corps de doctrine ces documents épars, et refaire le règne animal sur des observations complètes indispensables à l'établissement de la classification naturelle.

Il importe d'ailleurs que l'on soit de son époque, si l'on veut rendre des services réels à la science. A cet égard rien n'est frappant comme le parallèle entre Linné et Buffon.

Linné recueille les faits, les classe et les coordonne.

Buffon considère comme de peu d'importance les observations exactes; pour lui les classifications sont choses inutiles; il préfère à la rigueur scientifique les généralités et les théories préconçues.

Lequel de ces deux hommes illustres a rendu le plus de services à la zoologie ? Je n'hésite pas à répondre : celui qui a été le plus de son époque, et sans aucun doute c'est Linné, qui a réellement travaillé pour les besoins de son temps. Il a donné une méthode simple, claire et précise, pour distribuer, classer et ordonner les produits de la nature. A cette première époque de la science où les faits recueillis de toute part s'entassaient sans ordre, il fallait apporter la méthode et la coordination : c'est ce qu'a fait Linné.

Buffon, au contraire, ne voulait admettre en zoologie pour toute classification que l'ordre dans lequel nous apparaissent les objets. C'est ainsi qu'il fallait, selon lui, décrire le chien après le cheval parce qu'il a l'habitude de le suivre. Supposons qu'à cette époque où, après le long sommeil du moyen âge, on s'occupait de toute part à recueillir des faits et des observations, supposons, dis-je, que des naturalistes de deuxième ordre eussent suivi les conseils de Buffon, dans quel chaos ne serait pas tombé l'histoire naturelle ! Tandis qu'avec les préceptes de Linné, avec l'aide de sa méthode si précise, il devenait possible à ces naturalistes de concourir sûrement à l'avancement de la science. C'est donc de ce côté qu'était la supériorité.

Ainsi, pour apprécier les classifications, il est nécessaire de se placer à ce point de vue général ; il ne faut pas perdre de vue l'époque à laquelle elles ont été proposées, et se souvenir des besoins du temps.

Cette observation faite, voyons où l'on a placé, dans les différentes classifications, les Échinodermes et les Vers intestinaux. Il faudra tenir compte pour les bien apprécier de la valeur différente que les auteurs ont donnée aux groupes naturels. C'est ainsi que quelques zoologistes ont élevé au rang de classe ce qui n'est, en réalité, qu'un genre; d'autres fois encore, on voit certains auteurs passer immédiatement aux classes sans admettre avant elles de grandes coupes primaires, des embranchements. C'est ce qui ressortira de l'exposé des diverses classifications.

Linné est le premier qui ait introduit dans le classement des êtres vivants des données positives et vraiment scientifiques. Mais il fut de son temps; tout en amenant, par son *système* de botanique, l'ordre et la clarté là où il n'existait que désordre et confusion, il comprenait l'importance de la *méthode* naturelle, et tenta de l'appliquer dans sa classification zoologique : malheureusement il lui manquait un critérium qui le put guider dans cette importante innovation, en lui permettant d'apprécier la valeur relative des caractères. Ce devrait être le plus grand titre de gloire d'Antoine-Laurent de Jussieu, que d'avoir le premier découvert et nettement formulé le principe de la *subordination des caractères*, une des causes les plus directes des progrès des sciences naturelles.

Cependant on ne peut méconnaître dans la classification zoologique de Linné une tentative pour l'application de la méthode naturelle. Mais il prit pour caractère dominateur le sang et le cœur : c'était faire fausse route, en mettant au premier rang des caractères d'un ordre inférieur. Aussi les groupes qu'il a établis ne sont-ils pas comparables. Rappelons-nous ses divisions, pour nous en convaincre.

Digitized by Google

Divisio naturalis animalium ab interna structura indicatur :

Cor biloculare, biauritum. *Sanguine* calido, rubro.	Viviparis	MAMMALIBUS.
	Oviparis	AVIBUS.
Cor uniloculare, uniauritum. *Sanguine* frigido, rubro.	Pulmone arbitrario	AMPHIBIIS. (*Paradoxa* *).
	Branchiis externis	PISCIBUS.
Cor uniloculare, inauritum. *Sanie* frigida, albida	Antennatis	INSECTIS.
	Tentaculatis	VERMIBUS.

Dans cette classification, il manque à Linné le caractère qui domine tous les autres et à côté duquel se groupent les caractères secondaires qui déterminent les divisions de second ordre. Le cœur et le sang, le mode de génération, les organes de la respiration sont de cette catégorie. Linné se trompait quand il leur donnait une valeur de premier ordre, mais on doit reconnaître qu'ils lui ont servi très-heureusement quand il détermina les divisions secondaires indiquées par le tableau. Ses classes des *Mammalia*, *Aves*, *Amphibia*, *Pisces* et *Insecta* sont très-naturelles. Quand il arrive aux *Vermes*, ces caractères secondaires ne peuvent plus le guider : il lui faudrait le critérium, la connaissance des modifications de l'organe dominateur, et ce critérium lui fait défaut. Aussi réunit-il dans ce groupe les Vers, les Mollusques et les Zoophytes.

Nous pouvons donc conclure de tout ceci, que Linné n'a pas classé d'une manière certaine les Échinodermes et les Helminthes; il les confondait dans la classe des *Vermes* avec des animaux plus différents encore que ces deux groupes ne le sont entre eux.

De Lamarck, ainsi que nous avons eu déjà l'occasion de le voir, divise le règne animal en trois groupes : basant sa classification sur la fonction et non sur l'organe, il distingue les animaux en *apathiques*, *sensibles* et *intelligents*. C'est donc sur le système nerveux que s'appuie en réalité la division de Lamarck comme celle de Cuvier. A l'époque où de Lamarck publiait sa classification, les travaux de Cuvier étaient déjà connus, et l'on savait qu'il prendrait pour base de sa division du règne animal le système nerveux qu'il considérait comme le caractère dominateur de l'organisation; il semble que de Lamarck, reconnaissant la justesse de ces vues, ait voulu présenter sous un autre aspect la même observation, en remplaçant l'organe par la fonction. Il a d'ailleurs réclamé la priorité sur Cuvier, surtout en ce qui concerne la division des Invertébrés en cinq classes, Mollusques, Vers, Insectes, Échinodermes, Polypes. « Le changement que j'avais fait, dit-il, » M. Cuvier le consolida parfaitement par l'exposition des » faits les plus positifs, parmi lesquels plusieurs à la vérité » étaient déjà connus, mais n'avaient pas encore attiré notre » attention à Paris. »

Cette sorte de réclamation renferme en réalité l'éloge de Cuvier, en montrant la pénétration de vue de ce grand naturaliste. C'est, en effet, le propre du génie de tirer de l'oubli des choses déjà connues, ou de donner à des observations laissées de côté comme peu importantes leur valeur réelle.

Si nous considérons en elle-même la classification de Lamarck, nous trouvons dans cette division du règne animal, d'après les modifications de la fonction nerveuse, un sujet de justes critiques : les animaux en tant qu'animaux ne peuvent être apathiques, et dans la contraction de l'Actinie sous l'influence des excitations extérieures, dans le soin qu'elle met à éviter la trop grande lumière, il est permis de voir autre chose que des phénomènes d'irritabilité. D'un autre côté, l'intelligence des reptiles et des poissons, au moins pour beaucoup d'entre eux, est également fort contestable.

Sans entrer dans les détails de cette classification, rappelons seulement que la classe des animaux sensibles correspond aux Articulés et aux Mollusques de Cuvier; que la classe des animaux intelligents renferme les Vertébrés, c'est-à-dire les Poissons, les Reptiles, les Oiseaux et les Mammifères.

Enfin, voici comment il classe les animaux apathiques, qui, avec les animaux sensibles, constituent la grande division des Invertébrés :

Animaux apathiques.	INFUSOIRES.		
	POLYPES	ciliés	*Rotifères.*
		dénudés	*Hydres.*
		invaginés	*Anthozoaires*, *Bryozoaires.*
		nageant	*Crinoïdes*, quelques *Alcyonides.*
	RADIAIRES.	mous	*Acalèphes.*
		échinodermes	*Oursins.* *Holothuries.* *Actinies.*
	TUNICIERS.	composés	*Bothryllariés.*
		simples	*Ascidia.*
	VERS	mous	*Vers intestinaux.*
		spinuleux.	
		épizoaires.	

Ainsi, dans cette classification, nous trouvons les Échinodermes constituant une deuxième tribu des Radiaires; nous voyons en même temps que de Lamarck a, par un singulier rapprochement, fait rentrer les Actinies dans ce groupe, les éloignant de la classe des Polypes à laquelle ils appartiennent en réalité. Il place les Helminthes parmi les *Vers*, dans une première tribu.

De Lamarck avait basé ses divisions des différents groupes du règne animal sur la forme et l'aspect extérieur. De Blainville qui, dans ses travaux, donnait une si grande part à la morphologie, prit également ces caractères extérieurs comme point de départ de sa classification. Il plaça les Échinodermes en tête de l'embranchement des Zoophytes, et en éloigna les Entozoaires qu'il considérait avec raison comme des animaux annelés.

Arrivons aux classifications basées non plus sur la forme et les caractères extérieurs, mais sur l'organisation même.

Celle qui se présente d'abord dans l'ordre chronologique, la plus importante en même temps, est la classification de Cuvier, qui fut la première application de la méthode naturelle. Quand ce grand naturaliste commença l'étude de la zoologie, la classification artificielle régnait dans la science. Il avait manqué à Linné la reconnaissance du caractère dominateur qui, par ses modifications, permet d'établir des divisions naturelles dans le règne animal. Cuvier se mit à rechercher ce moyen de juger, ce critérium qui manquait à la science, et fut amené à baser ses classifications sur le système nerveux. Il avait été conduit à ce choix par la loi de la *subordination des caractères*, posée par de Jussieu, et déjà appliquée par lui à la distribution naturelle du règne végétal. Ce n'est donc pas de la seule modification

(*) Satyre, Licorne, Hydre, Dragons, etc.

Digitized by Google

du système nerveux, mais de tous les caractères de l'animal que se sert Cuvier pour le classer; tous les caractères des êtres sont en effet subordonnés les uns aux autres, et tous sont dominés par le système nerveux. C'est, d'ailleurs, ce qui ressort clairement du passage suivant, emprunté au *Règne animal* : « D'après ce que nous avons dit des méthodes en général, il » s'agit de savoir quels sont, dans les animaux, les caractères » les plus influents, dont il faudra faire les bases de leurs pre- » mières divisions. Il est clair que ce doivent être ceux qui se » tirent des fonctions animales, c'est-à-dire des sensations et du » mouvement, car non-seulement ils font de l'être un animal, » mais ils établissent, en quelque sorte, le degré de son ani- » malité. » Puis, il ajoute qu'il y a correspondance absolue entre les systèmes de la vie animale et ceux de la vie végétative; que, par conséquent, en prenant le système nerveux qui tient sous sa dépendance les systèmes vasculaire et digestif, et en s'en servant pour établir « les premières coupures à faire dans le règne animal », on fera l'application certaine de la méthode naturelle, qui exige que tous les caractères du corps vivant interviennent pour la classification.

Tel est le principe qui a guidé Cuvier dans sa classification. L'appareil nerveux est, en quelque sorte, le pavillon de l'animalité; il tient sous sa dépendance les autres organes, qui se modifient d'une même façon quand il se modifie lui-même.

Cuvier partage le règne animal en quatre grandes divisions ou *embranchements*. Dans une première division, le système nerveux forme un centre placé au-dessus du tube digestif, et d'ordinaire protégé par un canal osseux formé de pièces multiples articulées; c'est l'embranchement des Vertébrés, dans lequel Cuvier fait rentrer les quatre premiers groupes de Linné.

La classe des insectes de Linné est caractérisée par une chaîne de petits centres nerveux, placée sous le tube digestif et reliée à deux centres qui lui sont supérieurs par un anneau ou collier périœsophagien. C'est sur cette disposition que Cuvier base son deuxième embranchement des Articulés.

Dans les Mollusques, le système nerveux se compose d'ordinaire de trois paires de ganglions, dont l'une située au-dessus du tube digestif envoie des connectifs aux deux autres situées au-dessous à des distances inégales. Malgré ce que dit Cuvier, cette disposition est régulière et normale. On observe bien quelquefois la fusion des deux paires ganglionnaires sous-œsophagiennes ou leur déplacement; mais le caractère que nous venons d'indiquer, sauf ces exceptions, est général, et détermine la troisième division, l'embranchement des Mollusques.

Enfin, l'embranchement des animaux Radiaires est caractérisé par la disposition du système nerveux autour du tube digestif en un cercle duquel partent des prolongements divergeant en rayons.

Mais s'il revient à Cuvier, comme un titre de gloire, d'avoir amené l'ordre dans la classe des *Vermes* de Linnæus, on peut dire de son embranchement des Radiaires qu'il est, dans sa classification, ce que les *Vermes* étaient dans celle de Linné. Là il faut bien l'avouer, il a placé ce qu'il connaissait peu, et c'est ainsi qu'il a réuni dans cet embranchement les Échinodermes et les Helminthes, à côté des Acalèphes, des Polypes et des Infusoires.

Le rapprochement des Helminthes, qui se présentent d'ordinaire sous une forme rubannée, et des Échinodermes, d'apparence globuleuse ou rayonnée type, semble singulier et inexplicable au premier abord. Mais si l'on observe la tête du Tænia, on la trouve arrondie et portant quatre dépressions ou ventouses. Outre ces ventouses, on y remarque une couronne de crochets, d'apparence radiée, sous laquelle on croyait avoir observé le système nerveux disposé suivant le plan d'organisation propre aux Radiaires. Telle est la raison qui a déterminé Cuvier à placer les Helminthes dans cet embranchement, à côté des Échinodermes. L'étude plus approfondie du système nerveux de ces animaux n'a pas permis de retrouver ce caractère, et il n'est plus possible aujourd'hui de les considérer comme devant rentrer dans l'embranchement des Rayonnés.

Si nous cherchons la cause de cette erreur de Cuvier et de toutes celles qu'il a commises dans la division qu'il a donnée des différents groupes d'animaux, nous la trouvons dans l'esprit de l'époque, qui ne permettait d'employer pour la classification que les caractères tirés de l'organisation. Cuvier se trompait quand il disait : « Pour que chaque être puisse tou- » jours se reconnaître dans ce catalogue, il faut qu'il porte » son caractère avec lui. On ne peut donc prendre les carac- » tères dans des propriétés ou des habitudes dont l'exercice » soit momentané; mais ils doivent être tirés de la conforma- » tion. » Cette règle est trop absolue. La conformation peut servir de critérium pour la distribution méthodique des animaux, mais à la condition qu'elle soit étudiée dans les différents âges, et que les caractères transitoires fournis par l'embryogénie soient appelés à concourir à la détermination de la place qu'il convient d'assigner à chaque être dans les classifications. C'est pour n'avoir étudié l'organisation des animaux qu'à un moment donné de leur existence, que Cuvier a commis des erreurs dans leur distribution.

Agassiz est le plus vif défenseur de Cuvier. « Il n'y a, dit-il, que quatre types, ni plus, ni moins. » Voici la division qu'il fait du quatrième embranchement :

RADIATA.	POLYPES	ACTINOÏDES	Actinie.
		ALCYONIDES	Gorgone.
	ACALÈPHES	HYDROÏDES	Physalie.
		DISCOPHORES	Méduse.
		CTÉNOPHORES	Béroé.
	ÉCHINODERMES.	CRINOÏDES	Encrine.
		ASTÉROÏDES	Astérie.
		ÉCHINOÏDES	Oursin.
		HOLOTHURIOÏDES	Holothurie.

On voit qu'il enlève à ce quatrième embranchement les Helminthes que Cuvier y avait placés.

A côté des classifications basées sur l'organisation ou l'anatomie, viennent se placer les classifications physiologiques, qui s'appuient sur les observations embryogéniques.

Nous trouvons d'abord celle de Van Baër, publiée dans la période de 1826 à 1828, c'est-à-dire après l'apparition du *Règne animal* de Cuvier. Elle repose, en certains points, sur des erreurs d'observation ou sur des conceptions hypothétiques, et l'on doit lui attribuer, en grande partie, le mauvais accueil fait à la notion physiologique à son entrée dans la science.

D'après Van Baër, les animaux sont produits suivant quatre types, correspondant du reste exactement aux quatre embranchements de Cuvier. Voici l'exposé succinct et le point de départ de cette classification :

Digitized by Google

I. Type périphérique.
Evolutio radiata..... RADIATA.

II. Type massif.
Evolutio contorta..... MOLLUSCA.

III. Type longitudinal.
Evolutio gemina..... ARTICULATA.

IV. Type bisymétrique.
Evolutio bigemina..... VERTEBRATA.

Dans le premier groupe des animaux Radiaires, le développement part d'un centre et produit de tous côtés des parties semblables dans un ordre rayonné.

Dans la deuxième division, celle des *Mollusca*, le développement produit des parties identiques courbées autour d'un espace central de forme variable.

Chez les Articulés, il produit des parties identiques, s'élevant de chaque côté d'un axe et se recourbant pour se réunir le long d'une ligne parallèle et supérieure à l'axe primitif, formant ainsi un arc.

Enfin, dans le quatrième groupe, les Vertébrés, la formation embryogénique produit des parties identiques de chaque côté d'un arc comme chez les Articulés; mais ici les parties sont doubles, se développent au-dessus et au-dessous de l'axe, et viennent se réunir le long de deux lignes, formant ainsi deux cercles, l'un supérieur, l'autre inférieur à la ligne primitive. Les embryons de ces animaux ont une corde dorsale, un arc osseux inférieur ou ventral, un arc osseux supérieur renfermant les centres nerveux. Les *Poissons* et les *Amphibiens* (Sirènes, Urodèles, Anoures) présentent des franges branchiales; les Reptiles, les Oiseaux et les Mammifères acquièrent une allantoïde.

Cette classification était la confirmation par l'embryogénie de la justesse des observations anatomiques de Cuvier, puisque Van Baër était arrivé à trouver, dès le premier moment de l'apparition des animaux, quatre types correspondant exactement aux quatre embranchements que l'illustre auteur du *Règne animal* avait établis d'après la seule étude de l'organisation. Mais dans cette classification, en tout analogue à celle de Cuvier, le groupe des *Radiata* est encore plein d'obscurité, et sa division reproduit les erreurs que nous avons déjà signalées.

La classification de Van Beneden, comme la précédente, est basée sur l'observation du développement embryogénique. Mais ici nous ne trouvons plus que trois grandes coupes primaires. C'est la position différente du vitellus, par rapport au corps de l'embryon, qui détermine la place à assigner à l'animal dans la distribution méthodique.

Si le vitellus se trouve sous l'embryon, adhérant à sa face ventrale, nous aurons la division des *Hypocotylés* ou *Hypovitellins*, correspondant aux Vertébrés de Cuvier.

Si le vitellus se trouve, en quelque sorte, sur le dos de l'embryon, adhérant à la face supérieure de son corps, nous aurons le groupe des *Épicotylés* ou *Épivitellins*, qui est exactement l'analogue de l'embranchement des Articulés.

Si, enfin, la position du vitellus ne peut faire rentrer l'animal dans aucune des deux divisions précédentes, nous aurons une troisième division, celle des *Allocotylés* ou *Allovitellins*, qui renferme les Mollusques, les Vers, les Échinodermes, les Polypes, les Rhizopodes et les Infusoires. Ce dernier groupe est, comme on le voit, beaucoup trop hétérogène. Je ne puis, d'ailleurs, admettre cette classification, parce qu'elle est basée sur une particularité embryogénique non démontrée; parce que, en second lieu, l'embryogénie seule ne suffit pas pour partager méthodiquement le règne animal; il faut qu'à l'observation des formes transitoires de l'animal se joigne la connaissance de son organisation quand il est adulte.

Enfin, une des dernières classifications proposées est celle de M. Huxley, l'un des plus savants zoologistes de l'Angleterre.

M. Huxley divise le règne animal non plus en quatre embranchements comme Cuvier, mais en huit sous-règnes qu'il désigne sous les noms de *Vertebrata*, *Mollusca*, *Annulosa*, *Molluscoida*, *Annuloida*, *Cœlenterata*, *Infusoria*, *Protozoa*. Voici, d'ailleurs, le tableau explicatif de cette classification; on a placé entre des points les quatre sous-règnes d'Huxley correspondant aux Radiaires de Cuvier et les *Polyzoa*, qu'il range parmi les *Molluscoïda*, mais qui doivent rentrer dans le quatrième embranchement.

Division du règne animal en huit sous-règnes ou catégories primaires (par M. Huxley).

ZOOPHYTES (Cuv.)

I.
PROTOZOA.
Gregarinida.
Rhizopoda.
Spongida

III.
CŒLENTERATA
Hydrozoa.
Actinozoa.

II.
INFUSORIA.

V.
MOLLUSCOIDA.
Polyzoa.
Brachiopoda.
Ascidioida.

IV.
ANNULOIDA.
Echinodermata.
Scolecida { Turbellariés. Helminthes.

VII.
MOLLUSCA.
Lamellibranchiata.
Branchiogasteropoda.
Pulmogasteropoda.
Pteropoda.
Cephalopoda.

VI.
ANNULOSA.
Annelida.
Crustacea.
Arachnida.
Myriapoda.
Insecta.

VIII.
VERTEBRATA.
Pisces.
Amphibia.
Reptilia.
Aves.
Mammalia.

Huxley voulait que tous les caractères que l'observation peut montrer fussent employés à établir la méthode naturelle dans la classification. Mais s'il est vrai qu'il s'est servi de l'embryogénie, de l'anatomie, de l'histologie et de la morphologie, il faut avouer qu'il a parfois été un peu exclusif, et que, dans sa classification, une similitude dans le mode de développement est venue réunir, en certains points, des animaux bien différents par l'organisation, de même qu'il a, en d'autres points, fait jouer un rôle trop considérable à la morphologie. C'est ainsi qu'il a réuni les Helminthes et les Échinodermes dans le même sous-règne, parce qu'il a donné une trop grande valeur à une certaine analogie dans le mode de développement des animaux de ces deux classes.

On sait comment se reproduisent les Fougères et les Mousses. La spore ou graine formée par la Fougère adulte ne donne pas naissance immédiatement à une plante semblable à celle dont elle provient; sa germination a pour résultat la généra-

Digitized by Google

tion d'une sorte de lamelle étalée en forme de cœur, et que l'on désigne sous le nom de *Proembryon* ou *Protonema*. C'est sur cet organe, tout à fait transitoire, que vont se développer les éléments mâles et femelles à qui revient alors la fonction de reproduire la fougère.

Il se passe quelque chose d'analogue dans les Helminthes et les Échinodermes; l'œuf ne reproduit pas directement l'animal adulte, mais développe une larve ou un cysticerque, formes transitoires sur lesquelles naissent ensuite l'oursin ou le tænia.

C'est sur ce mode particulier de reproduction que s'est basé Huxley pour réunir ces deux groupes si différents. Mais il a évidemment exagéré en cela la valeur du caractère embryogénique; l'organisation et la forme éloignent trop ces êtres pour qu'une similitude transitoire puisse les rapprocher.

En donnant une trop grande importance à l'observation morphologique, le savant zoologiste anglais a, dans un autre cas, fait un rapprochement non moins singulier, celui des *Brachiopoda* et des *Ascidioida*, c'est-à-dire des Bryozoaires et des Térébratules, dans le même sous-règne des *Molluscoida*.

FIG. 171. — Anatomie de la Térébratule (d'après la *Zoologie* de M. Paul Gervais.

Ce rapprochement est uniquement basé sur une analogie observée dans les formes extérieures.

Certains Bryozoaires d'eau douce ou de mer, les Plumatelles

FIG. 172. — Plumatelle cristalline (d'après la *Vie et les mœurs des animaux*, par M. L. Figuier.

et les Cristatelles, par exemple, dans les eaux douces, présentent autour de la bouche une sorte de prolongement en forme de fer à cheval couvert de petits tentacules qui donnen à cette partie de l'animal l'aspect d'un panache. La Térébratule a, de son côté, deux longs bras bordés de cils ou de filaments sur un de leurs bords. C'est sur cette analogie si éloignée, que s'est basé Huxley pour réunir, dans un même sous-règne, les Brachiopodes et les Bryozoaires. C'est, il faut en convenir, accorder une bien grande importance à un caractère morphologique de peu de valeur.

Enfin, Leuckart, dans la classification qu'il a publiée en 1848, a séparé les Échinodermes des Helminthes. Il divise le règne animal en six catégories primaires, qu'il désigne sous les noms de *Cœlenterata*, *Echinodermata*, *Vermes*, *Arthropoda*, *Mollusca*, *Vertebrata*. Dans la classe des *Echinodermata* il fait rentrer les *Pelmatozoa* (Crinoïdes), les *Actinozoa* et les *Scytodermata* (Holothuries). Il place parmi les *Vermes* les Helminthes, qu'il désigne sous le nom d'*Anenterati*.

En résumé, quelle position accorderons-nous aux deux groupes qui doivent nous occuper?

Si l'on admet la valeur des vues de Cuvier sur les embranchements, pour se conformer aux progrès récents de la science, il faudra placer les Échinodermes parmi les Zoophytes radiaires, dont ils sont véritablement les représentants les plus caractéristiques. Il faudra, d'un autre côté, reporter au troisième embranchement, parmi les Annelés, les Helminthes qui, par tous les traits de l'organisation, se rapprochent des animaux les plus caractéristiques de ce groupe.

Si, au contraire, avec beaucoup d'auteurs, on préfère la division immédiate du règne animal en classes, on fera de ces deux groupes deux classes distinctes ayant chacune leur position marquée.

En ce qui me concerne, je crois qu'il faut reconnaître avec de Lamarck deux grands sous-règnes, les Vertébrés et les Invertébrés, si différents à tous égards. Parmi les Invertébrés, il faut établir quatre divisions : les Mollusques, les Annelés, les Radiaires et les Protozoaires, qu'une forme, une organisation et un développement bien spécial distinguent les uns des autres. Tout en admettant l'utilité des observations embryogéniques, je n'en veux pas reconnaître l'importance exclusive. Aussi, je dois faire toute réserve sur le rapprochement inattendu que nous montre le tableau de la classification d'Huxley.

Les Helminthes ne sont pas assez connus pour oser affirmer qu'ils forment une classe aussi distincte que les Échinodermes et les Polypes. Certaines observations de Müller de vers parasites présentant des soies roides à chacun de leurs anneaux sembleraient même indiquer un grand trait de ressemblance avec les Annélides. Mais ce que nous pouvons affirmer, c'est qu'ils peuvent et qu'ils doivent être éloignés de ce que l'on désigne sous le nom de Zoophytes ou Radiaires.

L. Hallez.

Digitized by Google

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS.

PHYSIQUE MÉDICALE.

COURS DE M. GAVARRET (*).

Des images par réflexion et par réfraction.

II. — DES IMAGES PAR RÉFRACTION (suite).

28. *Foyer d'un point lumineux situé hors de l'axe principal.* — Soit S (fig. 173) un point lumineux quelconque situé hors de l'axe principal. — L'axe secondaire SCG mené par le point lumineux S joue évidemment par rapport à ce point lumineux le rôle d'un axe principal ; de plus le rayon incident qui coïncide avec cet axe est normal à la surface réfringente et passe nécessairement sans déviation. — Au faisceau incident *homocentrique* fourni par le point lumineux S correspond donc un faisceau transmis *homocentrique* composé de rayons dont le point d'entrecroisement est sur l'axe secondaire SG. — Or, le rayon incident SI parallèle à l'axe principal, pénètre suivant la droite IR menée par le second foyer principal F', et le rayon incident SI' qui passe par le premier foyer principal F pénètre suivant I'R' parallèle à l'axe principal. — Le foyer du point lumineux S est donc au point S' où ces deux rayons réfractés se coupent sur l'axe secondaire SG.

Des points S, S' abaissons les perpendiculaires SP, S'P' sur l'axe principal. Pour déterminer la position du foyer S', il suffit de trouver la valeur des distances P'F' et S'P'. — Or, en raison de la très-faible amplitude de la surface réfringente, l'arc II' se confond avec la perpendiculaire à l'axe principal menée par le point A. Dès lors AI = SP et AI' = S'P' comme parallèles comprises entre parallèles.

Les triangles rectangles FSP, FI'A sont semblables et donnent :

$$\frac{PF}{AF = f} = \frac{SP}{AI' = S'P'}$$

D'autre part les triangles rectangles F'IA, F'S'P' sont semblables et donnent :

$$\frac{AF' = f'}{P'F'} = \frac{AI = SP}{S'P'}$$

De ces deux équations on tire :

$$PF \times P'F' = ff'$$

Les distances PF, P'F' du premier et du second foyer principal aux pieds P, P' des perpendiculaires abaissées du point lumineux S et de son foyer S' sur l'axe principal satisfont donc à la formule générale (3) des foyers conjugués.

Mais les triangles rectangles FI'A, FSP, en tenant compte de l'égalité AI' = S'P', donnent :

$$\frac{S'P'}{SP} = \frac{f}{PF}$$

Pour déterminer la position du foyer S' nous avons donc les deux relations suivantes :

$$(4) \quad \begin{cases} PF \times P'F' = ff' \\ \dfrac{S'P'}{SP} = \dfrac{f}{PF} \end{cases}$$

La position du point lumineux S étant donnée, les longueurs PF, SP sont nécessairement connues ; la position du foyer S' est donc déterminée par les équations (4) qui fournissent les valeurs correspondantes de P'F' et de S'P'.

Dans la figure 173, le point lumineux S et son foyer S' sont l'un au-dessus, l'autre au-dessous de l'axe principal; ces deux points étant situés sur un même axe secondaire SG, leur position relative reste évidemment la même dans tous les cas où le centre de courbure C de la surface réfringente se trouve compris dans l'intervalle qui les sépare ; dans le cas contraire, ces deux points sont du même côté de l'axe principal.

FIG. 173.

Les équations (4) montrent que tout point lumineux placé sur la perpendiculaire SP a nécessairement son foyer sur la perpendiculaire S'P'. — En raison de la parfaite symétrie des surfaces sphériques, des points lumineux placés sur un plan perpendiculaire à l'axe principal mené par le point P auraient nécessairement leurs foyers sur un plan perpendiculaire à l'axe principal mené par P'; de plus, les points lumineux et leurs foyers seraient semblablement distribués sur ces deux plans.

29. *Relations de position et de grandeur d'un objet et de son image.* — Il résulte de cette dernière considération, que si SP (fig. 173) est un objet lumineux ou éclairé, S'P' est son image. — Les positions relatives de l'objet et de son image sont donc déterminées par la première des équations (4), et la seconde de ces équations est l'expression du rapport de leurs dimensions linéaires.

L'objet SP et son image S'P' étant tous deux compris entre l'axe principal et l'axe secondaire SG, l'image est *renversée* toutes les fois que le centre de courbure C est placé dans l'intervalle qui la sépare de l'objet; elle est *droite* dans le cas contraire. — Ajoutons que l'objet et son image sont nécessairement vus sous le même angle par un œil placé au centre de courbure C de la surface réfringente.

2e cas. — *La lumière passe du milieu le plus réfringent dans l'air à travers une surface sphérique concave* MN.

(*) Voy. les nos 27 et 28, et d'autres leçons de M. Gavarret *sur la climatologie* dans les nos 7, 8, 10, 12 et 15.

Digitized by Google

30. Lorsque les milieux transparents et la surface qui les sépare restent les mêmes, la lumière en rebroussant chemin repasse par les mêmes points de l'espace. Ce second cas de transmission de la lumière à travers une surface sphérique est donc *réciproque* de celui que nous venons d'étudier avec détails. Les constructions géométriques et les raisonnements employés dans le cas précédent donnent la solution de toutes les questions relatives à la marche de la lumière à travers ce second appparcil dioptrique simple.

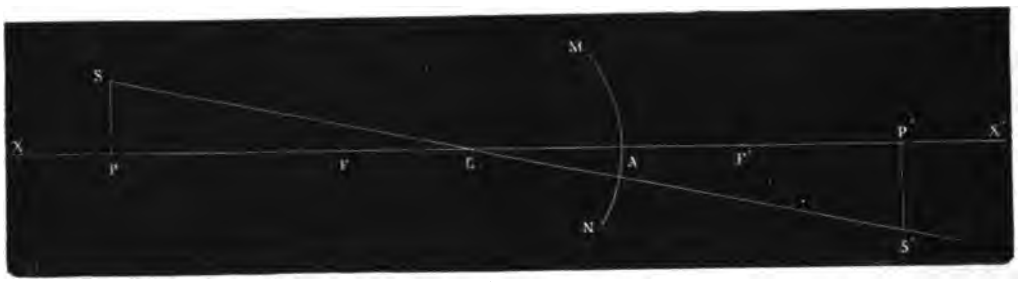


Fig. 174.

MN (fig. 174) étant la surface concave que traverse la lumière en passant du milieu d'indice de réfraction n dans l'air, on trouve ainsi :

1° Les foyers principaux F, F' sont *réels*.

2° Les distances focales principales *positives* ont pour valeur :

1re distance focale : (1) $AF = f = \frac{nr}{n-1}$

2e distance focale : (2) $AF' = f' = \frac{r}{n-1}$

3° Le rapport de la seconde à la première distance focale :

$$\frac{f'}{f} = \frac{1}{n}$$

est, comme dans le premier cas, égal à l'indice de réfraction du milieu dans lequel se meut la lumière transmise par rapport au milieu dans lequel se meut la lumière incidente.

4° Les plans focaux jouissent des mêmes propriétés que dans le premier cas de transmission de la lumière.

5° Entre un point lumineux quelconque P placé sur l'axe principal et son foyer P', il existe la même relation que dans le cas précédent (*) :

$$PF \times P'F' = ff'$$

Ou :

(3) $$ll' = ff'$$

La loi des déplacements des foyers conjugués le long de l'axe principal est donc la même que dans le cas précédent.

6° Étant donnée la position d'un point lumineux S placé hors de l'axe principal, la position de son foyer S' est déterminée par les deux relations déjà connues :

(4) $$\begin{cases} PF \times P'F' = ff' \\ \frac{S'P'}{SP} = \frac{f}{PF} \end{cases}$$

7° Ces deux équations déterminent aussi les rapports de position et de grandeur d'un objet lumineux SP et de son image S'P'.

3e cas. — *La lumière passe de l'air dans le milieu le plus réfringent à travers une surface concave* MN.

31. Soit SI (fig. 176) un rayon incident quelconque parallèle à

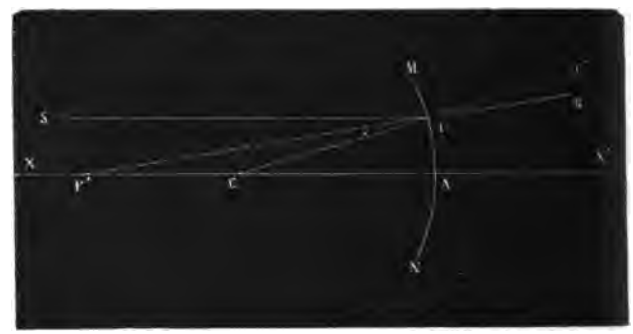


Fig. 176.

l'axe principal ; ce rayon pénètre suivant IR en se rapprochant de la normale CC' et l'angle de réfraction RIC' est plus petit

(*) En comptant toutes les longueurs à partir du sommet A de la surface réfringente, en faisant $AP = p$, $AP' = p'$, et en procédant comme dans la note (27), on trouve :

(b) $$\frac{1}{p'} + \frac{n}{p} = \frac{n-1}{r}$$

Telle est la formule classique des foyers conjugués.

Transmission de la lumière à travers une surface plane. — Supposons que la lumière passe du milieu le plus réfringent dans l'air à travers la surface plane MN. Soient P (fig. 175) le point lumineux, XX' une perpendiculaire à la surface MN menée par le point P. — Pour

Fig. 175.

trouver la relation qui existe entre le point lumineux P et son foyer P', il suffit de faire r *infini* dans la formule (b), ce qui donne :

(é) $$\frac{1}{p'} + \frac{n}{p} = 0 \text{ ou } np' + p = 0$$

Dans cette formule $p = AP$, $p' = AP'$. — D'ailleurs les conventions sont toujours les mêmes pour les signes de p et de p'.

Digitized by Google

que l'angle d'incidence SIC. Le rayon transmis IR est donc divergent, et son prolongement géométrique coupe l'axe principal en F′ du côté de la lumière incidente.

D'après les lois de la réfraction, nous avons :

$$\frac{\sin SIC}{\sin RIC'} = n$$

Mais les angles RIC′, F′IC sont égaux, d'un autre côté l'angle SIC est égal à l'angle ICA, et le *sinus* de l'angle ICA est égal au *sinus* de son angle *supplémentaire* ICF′; nous avons donc :

$$\frac{\sin SIC}{\sin RIC'} = \frac{\sin ICF'}{\sin F'IC} = n$$

Dans le triangle ICF′, les *sinus* des angles sont dans le même rapport que les côtés opposés, d'où :

$$\frac{\sin ICF'}{\sin F'IC} = \frac{F'I}{CF'}$$

D'où :

$$\frac{F'I}{CF'} = n$$

En raison de la très-faible amplitude de la surface MN, F′I est sensiblement égal à AF′; d'ailleurs, CF′=AF′ − AC=AF′ − r; nous avons donc en substituant :

$$\frac{AF'}{AF' - r} = n$$

D'où :

$$AF' = \frac{nr}{n-1}$$

Les quantités n et r sont constantes; AF′ conserve donc la même valeur, quelle que soit la position du point d'incidence I sur la surface MN, et tous les rayons incidents parallèles à l'axe principal sont réfractés dans des directions telles que leurs prolongements géométriques passent par le point F′.

Ce point F′, foyer des rayons incidents parallèles à l'axe principal, est le *second foyer principal* du système; dans le cas actuel, il est *virtuel* ou situé du côté de la lumière incidente.

AF′ est la *seconde distance focale*, nous la désignerons par la lettre f'; nous aurons donc :

$$f' = \frac{nr}{n-1}$$

La distance CF′ du centre de courbure au second foyer principal est égale à AF′ − AC = $f' - r$; d'où :

$$CF' = \frac{r}{n-1}$$

32. Soit SI (fig. 177) un rayon incident tel que le rayon réfracté correspondant IR marche parallèlement à l'axe principal. Le prolongement géométrique de ce rayon incident coupe l'axe principal en F du côté de la lumière émergente.

L'angle de réfraction RIC′ est égal à l'angle ICF, et le *sinus* de l'angle d'incidence SIC et égal au *sinus* de son angle *supplémentaire* CIF, nous avons donc :

$$\frac{\sin SIC}{\sin RIC'} = \frac{\sin CIF}{\sin ICF} = n$$

D'autre part, dans le triangle ICF, les *sinus* des angles sont le rapport des côtés opposés, d'où :

$$\frac{\sin CIF}{\sin ICF} = \frac{CF}{FI}$$

D'où:

$$\frac{CF}{FI} = n$$

Mais CF = AF + AC = AF + r; de plus, en raison de la très-faible amplitude de la surface réfringente, FI est sensiblement égal à AF; ce qui donne en substituant :

$$\frac{AF + r}{AF} = n$$

D'où :

$$AF = \frac{r}{n-1}$$

Cette relation, indépendante de la position du point d'incidence I sur la surface MN, indique que tous les rayons incidents dont les prolongements géométriques passent par le

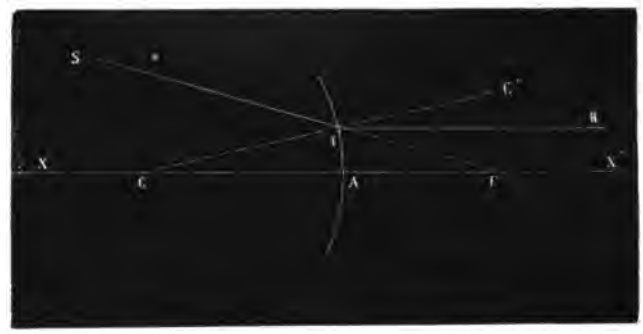


Fig. 177.

point F pénètrent dans le second milieu parallèlement à l'axe principal.

Ce point F est le *premier foyer principal* du système; dans le cas actuel, il est *virtuel* ou du côté de la lumière émergente. — AF est la *première distance focale;* nous la désignerons par la lettre f, et nous aurons :

$$f = \frac{r}{n-1}$$

La distance CF du centre de courbure au premier foyer principal est égale à AF + AC = $f + r$, d'où :

$$CF = \frac{nr}{n-1}$$

33. En résumé, dans les cas où la lumière passe de l'air dans un milieu plus réfringent d'indice n, à travers une surface concave :

1° Les deux foyers principaux F, F′ sont *virtuels*.

2° Les distances focales doivent être considérées comme *négatives* et affectées du signe *moins;* ce qui donne :

1re distance focale : (1) $AF = f = -\frac{r}{n-1}$

2e distance focale : (2) $AF' = f' = -\frac{nr}{n-1}$

D'où l'on déduit :

$$\frac{f'}{f} = n$$

Dans ce cas donc encore, le rapport de la seconde à la première distance focale est égale à l'indice de réfraction du milieu dans lequel se meut la lumière transmise par rapport au milieu dans lequel se meut la lumière incidente.

3° Les distances du premier et du second foyer principal au centre de courbure sont :

$$CF = f' = \frac{nr}{n-1}$$

Digitized by Google

$$CF' = f = \frac{r}{n-1}$$

34. *Plans focaux.*—Les plans TT, T'T' (fig. 178) perpendiculaires à l'axe principal, menés par les foyers principaux F, F', sont le *premier* et le *second plan focal;* les portions de ces plans voisines des points F, F' jouissent de propriétés fort importantes.

Fig. 178.

1° Considérons un faisceau de rayons incidents SI, S'I' dont les prolongements géométriques passent tous par un même point H (fig. 178) du premier plan focal. L'axe secondaire HH' mené par le point H joue évidemment, par rapport à ces rayons incidents, le rôle d'un axe principal; de plus, le point H étant très-rapproché de F, la distance HD est sensiblement égale à la première distance focale AF.

Donc, quand un point lumineux *virtuel* est situé sur le premier plan focal, tous les rayons incidents SI, S'I' dont les prolongements géométriques passent par ce point H sont réfractés suivant IR, I'R' parallèles à l'axe secondaire HH' mené par ce point H.—Dans le cas particulier où le point lumineux *virtuel* H est au premier foyer principal F, les rayons réfractés sont tous parallèles à l'axe principal.

2° Soit SI (fig. 179) un rayon incident quelconque peu incliné

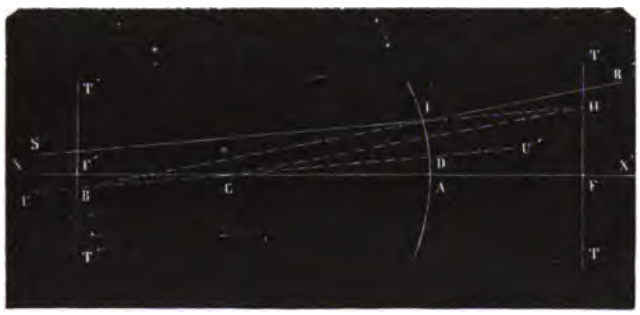


Fig. 179.

sur l'axe principal. L'axe secondaire UU', parallèle à ce rayon incident, joue évidemment par rapport à SI, le rôle d'un axe principal, et l'intervalle BD est sensiblement égal à la seconde distance focale AF'. Donc le prolongement géométrique du rayon réfracté IR correspondant à SI passe nécessairement par le point B, et il en est de même de tous les rayons incidents parallèles à SI.

Donc, lorsque la lumière incidente se compose de rayons parallèles entre eux, les prolongements géométriques des rayons réfractés passent tous par le point B, où le second plan focal est percé par l'axe secondaire parallèle aux rayons incidents. — Dans le cas particulier où les rayons incidents sont parallèles à l'axe principal, les prolongements géométriques des rayons réfractés passent tous par le second foyer principal F'.

Il résulte de ces deux propriétés des plans focaux, qu'un rayon incident quelconque SI et le rayon réfracté correspondant IR satisfont aux conditions suivantes:

Le prolongement géométrique du rayon transmis IR passe par le point B où le second plan focal est percé par l'axe secondaire UU', parallèle à SI.— En second lieu, ce rayon incident SI peut être considéré comme passant par un point lumineux *virtuel* H situé au point où son prolongement géométrique perce le premier plan focal; par suite, le rayon transmis IR doit être parallèle à l'axe secondaire CH mené par ce point H. — Le quadrilatère CBIH formé par ces deux axes secondaires, le rayon incident et le rayon réfracté, est donc un parallélogramme.

35. *Foyer d'un point lumineux situé sur l'axe principal.*—Soit P (fig. 180) un point lumineux sur l'axe principal. Menons un rayon incident PI et prolongeons-le jusqu'à la rencontre du premier plan focal en H. Le rayon réfracté IR est nécessairement parallèle à l'axe secondaire CH et son prolongement géométrique passe par le point B où le second plan focal est

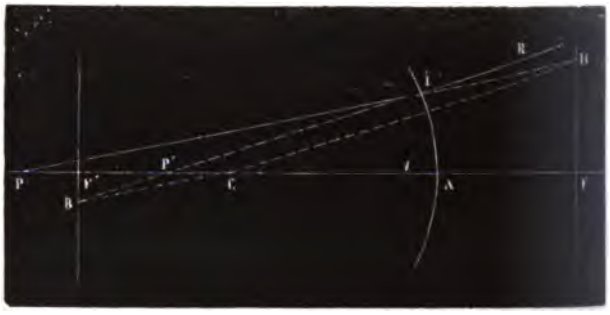


Fig. 180.

percé par l'axe secondaire CB parallèle à PI.— Or nous avons vu (33) que $CF = AF' = f'$ et que $CF' = AF = f$; cela posé :

Les deux couples de triangles rectangles semblables PHF, CBF' et CHF, P'BF', donnent :

$$\frac{PF}{AF} = \frac{AF'}{P'F'}$$

D'où :

$$PF \times P'F' = AF \times AF' = ff'$$

Donc tous les rayons incidents fournis par le point lumineux P, sont réfractés dans des directions telles que leurs prolongements géométriques passent par le point P' foyer des rayons transmis. — Les points P, P' sont évidemment *réciproques* l'un de l'autre; ils s'appellent *foyers conjugués.*

Lorsque la lumière incidente émane d'un point lumineux P placé sur l'axe principal, les rayons transmis sont donc *homocentriques*, et leur point de croisement P' est lui-même sur l'axe principal.

Désignons par la lettre l la distance PF, et par la lettre l' la distance P'F', nous aurons en substituant :

$$ll' = ff' \tag{3}$$

Pour formule générale des foyers conjugués (*).—Conformé-

(*) Lorsqu'on compte toutes les distances à partir du sommet A de la surface réfringente, on désigne par la lettre p la distance AP, et par la lettre p' la distance AP'. — D'ailleurs p est compté *positivement* à *gauche* et *négativement* à *droite* de A; p' est compté *positivement* à

Digitized by Google

ment aux conventions précédemment adoptées, l est compté *positivement* à *gauche* du premier foyer principal F, *négativement* à *droite* de F; l' est compté *positivement* à *droite* du second foyer principal F', *négativement* à *gauche* de F'.

Le second membre ff' de l'équation (3) est évidemment *positif*, le signe de l' ne dépend donc que celui de l. Il en résulte que :

Tant que l est *positif*, c'est-à-dire tant que le point lumineux P, *réel* ou *virtuel*, est à *gauche* du premier foyer principal F, l' reste *positif* et le foyer P', *réel* ou *virtuel* suivant la valeur de l, est à *droite* du second foyer principal F'.

Lorsque l est *négatif*, c'est-à-dire lorsque le point lumineux P est *virtuel* et à *droite* du premier foyer principal F, l' devient *négatif* et le foyer P' est *virtuel* et à *gauche* du second foyer principal F'.

En appliquant à cette formule le mode de discussion adopté pour les miroirs concaves (15) on détermine sans difficulté, dans tous les cas possibles, les positions des foyers conjugués P, P' sur l'axe principal.

D'ailleurs, ces foyers conjugués P, P' se déplacent toujours dans le *même sens* le long de l'axe principal.

36. *Foyer d'un point lumineux situé hors de l'axe principal.* — Soit S (fig. 181) un point lumineux hors de l'axe principal. — Son foyer se trouve nécessairement sur l'axe secondaire SG, qui joue par rapport à S le rôle d'un axe principal. — Au faisceau de rayons incidents *homocentriques* fourni par le point lumineux S, correspond donc un faisceau de rayons transmis *homocentriques* dont le point de croisement est sur l'axe secondaire SG. — Mais le rayon incident SI parallèle à l'axe principal se réfracte suivant IR dont le prolongement géométrique passe par le second foyer principal F', et le rayon incident SI' dont le prolongement géométrique passe par le premier foyer principal F se réfracte suivant I'R' parallèle à l'axe principal. Le foyer du point lumineux S est donc en S' au point où les prolongements géométriques de ces deux rayons réfractés IR, I'R' se coupent sur l'axe secondaire SG; ce foyer est *virtuel*.

Des points S, S' abaissons les perpendiculaires SP, S'P' sur l'axe principal. — En raison de la très-faible amplitude de la surface réfringente, l'arc AI se confond avec le perpendiculaire à l'axe principal menée en A ; nous avons donc AI = SP et AI' = S'P'. En tenant compte de ces relations :

Les deux couples de triangles rectangles semblables FSP, FI'A et F'IA, F'S'P' donnent :

$$\frac{PF}{AF} = \frac{AF'}{P'F'}$$

D'où :

$$PF \times P'F' = AF \times AF' = ff'$$

Les distances PF, P'F' du premier et du second foyer principal aux pieds P, P' des perpendiculaires abaissées du point

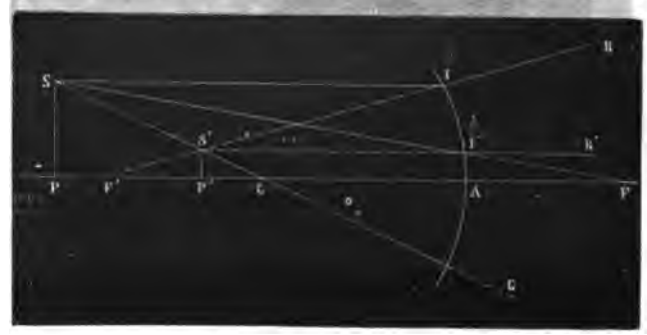


Fig. 181.

lumineux S et de son foyer S' sur l'axe principal satisfont donc à la formule générale des foyers conjugués.

Mais les triangles rectangles semblables I'FA, SFP, en tenant compte de l'égalité AI' = S'P', donnent :

$$\frac{S'P'}{SP} = \frac{f}{PF}$$

Pour déterminer la position du foyer S', nous avons donc les deux relations suivantes :

$$(4) \quad \begin{cases} PF \times P'F' = ff' \\ \dfrac{S'P'}{SP} = \dfrac{f}{PF} \end{cases}$$

La position du point lumineux S étant donnée, les longueurs PF, SP sont connues ; ces deux équations fournissent donc les valeurs correspondantes de P'F', S'P', et la position du foyer S' est déterminée.

Dans la figure 181, le point lumineux S et son foyer *virtuel* S' sont situés du même côté de l'axe principal. Ces deux points étant assujettis à rester sur un même axe secondaire SG, leur position relative reste évidemment la même dans tous les cas où le centre de courbure C est en dehors de l'intervalle qui les sépare.

Les équations (4) montrent que tout point lumineux situé sur la perpendiculaire SP a nécessairement son foyer sur la perpendiculaire S'P'. — Des points lumineux situés sur un plan perpendiculaire à l'axe principal mené par le point P, auraient évidemment leurs foyers sur un plan perpendiculaire à l'axe en P'; d'ailleurs ces points lumineux et ces foyers seraient semblablement distribués sur ces deux plans.

37. *Relations de position et de grandeur d'un objet et de son image.* — Il résulte de cette dernière considération que si SP (fig. 181) est un objet lumineux ou éclairé, S'P' est son image. Les positions relatives de l'objet et de l'image, et le rapport de leurs dimensions linéaires sont déterminés par les équations (4).

L'objet et son image étant toujours compris entre l'axe

---

droite et *négativement* à *gauche* de A. — En tenant compte seulement des valeurs absolues de ces longueurs on a :

$$l = FP = AP + AF = p + f$$
$$l' = P'F' = AF' - AP' = f' - p'$$

ce qui donne, en substituant dans l'équation (3),

$$(p + f)(f' - p') = ff'$$

d'où

$$pf' - p'f = pp'$$

ou, en remplaçant f' par sa valeur nf,

$$npf - p'f = pp'$$

En mettant en évidence le signe *négatif* de p' et de f, cette équation devient :

$$npf + p'f = pp'$$

Et enfin, en divisant tous les termes par le produit *positif* $pp'f$, nous avons :

$$(c) \quad \frac{n}{p'} + \frac{1}{p} = \frac{1}{f} = -\frac{n-1}{r}$$

Formule classique des foyers conjugués dans ce troisième cas de transmission de la lumière ; elle ne diffère de la formule (a) (27. *Note*) relative au premier cas de transmission que par le signe du second membre.

Digitized by Google

principal et l'axe secondaire SG, l'image est *droite* toutes les fois que le centre de courbure C est en dehors de l'intervalle qui la sépare de l'objet. — Ajoutons que l'objet et son image sont toujours vus sous un même angle par un œil placé au centre de courbure C de la surface réfringente.

4e cas. — La lumière passe du milieu le plus réfringent dans l'air à travers une surface convexe MN.

38. Ce quatrième cas de transmission de la lumière à travers une surface sphérique est évidemment *réciproque* du

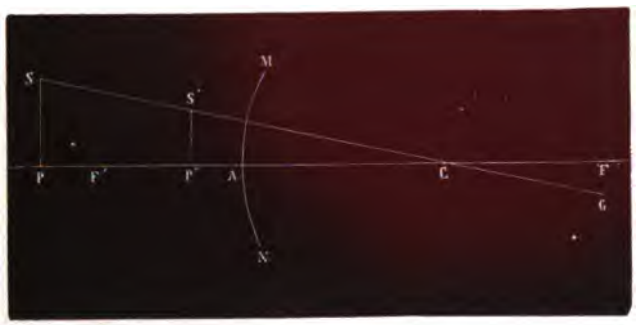


Fig. 182.

troisième. En reprenant les constructions géométriques et les raisonnements employés dans le cas précédent, on trouve (fig. 182) :

1° Les foyers principaux F, F' sont *virtuels*.

2° Les distances focales sont *négatives* et ont pour valeur :

1re distance focale : (1) $AF = f = -\frac{nr}{n-1}$

2e distance focale : (2) $AF' = f' = -\frac{r}{n-1}$

3° Le rapport de la seconde à la première distance focale

$$\frac{f'}{f} = \frac{1}{n}$$

est toujours égal à l'indice de réfraction du milieu dans lequel se meut la lumière transmise par rapport au milieu dans lequel se meut la lumière incidente.

4° Les plans focaux jouissent des mêmes propriétés que dans le troisième cas de transmission de la lumière.

5° Les lois générales des foyers conjugués sont les mêmes que dans le troisième cas.— Entre un point lumineux P placé sur l'axe principal et son foyer P', il existe toujours la relation :

(3) $ll' = ff'$

6° Étant donnée la position d'un point lumineux S hors de l'axe principal, la position de son foyer S' est déterminée par les deux relations connues :

$$(4) \quad \begin{cases} PF \times P'F' = ff' \\ \frac{S'P'}{SP} = \frac{f}{PF} \end{cases}$$

7° Ces deux équations déterminent les relations de position et de grandeur d'un objet lumineux quelconque SP et de son image S'P'.

8° De l'équation générale des foyers conjugués $ll' = ff'$, on déduit facilement la formule classique moins simple :

$$(d) \quad \frac{1}{p'} + \frac{n}{p} = -\frac{n-1}{r}$$

Cette dernière formule et la formule (*b*) (30. *Note*) relative au second cas de transmission ne diffèrent que par le signe du second membre.

GAVARRET.

CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS.

CHIMIE AGRICOLE (1).

COURS DE M. BOUSSINGAULT
(de l'Institut).

Fabrication du beurre.

Nous avons dit que le lait vu au microscope était composé de globules nageant dans un liquide, et que ces globules, soudés entre eux, constituaient le beurre. Nous avons dit aussi, que, abandonné au repos, le lait se partage après un temps plus ou moins long en deux couches distinctes : l'une, supérieure, la crème; l'autre, inférieure, le lait écrémé. La première couche est essentiellement formée par les globules butyreux et par la dissolution de caséum et des principes solubles du lait. Il faut chercher quelles sont les conditions les plus favorables pour l'ascension des globules de la masse intérieure à la surface du lait. Les uns prétendent que la crème se forme plus facilement dans des vases cylindriques et profonds; les autres, dans des vases de peu de profondeur et de grande surface. Ces deux systèmes sont également avantageux, suivant la température à laquelle on fait le beurre. L'observation a prouvé que le lait sortant de la vache devrait être refroidi le plus vite possible à la température de 12 ou 15 degrés; on se servira du premier procédé si l'on fait refroidir le lait dans un ruisseau ou dans de l'eau fraîche; on se servira du second, si la température extérieure étant de 12 ou 15 degrés, on se borne à laisser le lait se refroidir dans un cave. On doit prendre un soin tout particulier pour ramener rapidement le lait à la température de 12 ou 15 degrés, car à une température peu supérieure, 20 degrés, par exemple, il se forme de l'acide lactique, et sous son action la masse se prend en lait caillé; alors l'ascension des globules est impossible, car ils sont retenus par ce coagulum. Lorsque la crème est obtenue elle ne doit pas, dans les temps chauds, rester plus de vingt-quatre heures, et en hiver par une température modérée, plus de deux ou trois jours sans être battue. La crème, pendant l'été, doit être battue le matin de bonne heure ou le soir, et en hiver vers le milieu du jour. Le temps pendant lequel dure l'opération du *barattage* varie suivant la saison, la forme de la baratte et beaucoup d'autres circonstances. En été, il suffit d'une demi-heure à trois quarts d'heure; en hiver il faut quelquefois plus d'une demi-journée; enfin il peut arriver que le beurre ne se forme pas, dans ce cas, on élève ou l'on abaisse, suivant la saison, la température de la crème; ou bien on introduit dans la baratte un peu de crème acide, un peu de jus de citron, ou de présure ou d'eau-de-vie pour déterminer un commencement de coagulation de la partie caséeuse de la crème. On doit cependant éviter d'ajouter un acide, car le beurre est toujours d'une qualité inférieure et se conserve très-peu de temps.

(1) Voy. les numéros 1, 2, 6, 8 11, 15, 21, 22, 23 et 25.

Digitized by Google

On n'est pas d'accord sur la constitution physique des globules butyreux du lait. On a remarqué que l'on ne pouvait pas enlever au lait normal son principe gras par la simple action de l'éther (il faut en effet ajouter un acide et porter le mélange à l'ébullition), et l'on a vu aussi que les globules du beurre conservaient leur forme et leur individualité alors même que le lait était porté à la température de 200 degrés. Ces faits sembleraient prouver que les globules graisseux du lait sont enfermés dans une membrane, probablement analogue à celle des tissus adipeux, et qui les empêcherait d'être dissous par l'éther et de se fondre sous l'action de la chaleur. Cependant le microscope ne montre pas d'enveloppe. Quoi qu'il en soit, on soude ces globules par le *barattage*, opération que tout le monde connaît et qui s'exécute dans des instruments de formes diverses. La baratte ordinaire, qu'on trouve dans les petites exploitations, consiste en un vase de tonnellerie, fait de chêne ou de sapin, de 80 centimètres à 1 mètre de haut sur 25 ou 30 centimètres de grosseur, en forme de cône tronqué ou de baril. On ferme la baratte avec une rondelle de bois percée d'un trou pour permettre à un bâton de 2 mètres de longueur d'y glisser avec facilité. Ce bâton, *batte-beurre*, *baraton* ou *piston*, porte à sa partie inférieure un disque de bois percé de trous destinés à diviser la crème et à donner passage au lait de beurre. C'est en élevant et en baissant le piston par un mouvement alternatif dans la crème ou dans le lait, qu'on forme le beurre.

Dans les grandes exploitations agricoles, on préfère extraire le beurre du lait; on est dispensé de l'écrémage et le rendement est le même. En général les barattes, quelle que soit leur forme, ne doivent jamais contenir au delà de la moitié de leur capacité. Le battage doit se faire par un mouvement modéré, uniforme et non interrompu. Dans le cas contraire le beurre perd de sa couleur, de son goût et de sa consistance. On reconnaît que le beurre se forme au son que rend le battage; dans les barattes ordinaires, le son est d'abord grave, sourd et profond ; ensuite il devient sec et plus éclatant.

Lorsqu'on retire le beurre de la baratte, il renferme une certaine quantité de ce qu'on appelle *lait de beurre;* pour l'en débarrasser, on procède au *délaitage*, opération qui consiste à pétrir le beurre dans l'eau et à renouveler celle-ci jusqu'à ce qu'elle reste limpide et claire.

On peut faire cette opération dans la baratte; il suffit d'y introduire de l'eau fraîche et de battre le beurre dans cette eau.

Il ne faut pas oublier que le beurre trop lavé perd son parfum, et que, consommé frais, il est plus agréable au goût lorsqu'il contient un peu de lait de beurre. En Bretagne, on pratique le délaitage sans eau ; on dépose le beurre dans une terrine et on le pétrit avec un écrémoir, une cuiller, un bâton ou un rouleau. Il faut, pour cette opération, une certaine habileté, car le beurre non entièrement délaité se gâte rapidement, et trop fatigué il devient visqueux. Le beurre de Bretagne, préparé avec soin, est de première qualité.

Tout le beurre n'est pas fabriqué exclusivement avec de la crème ; on en fait avec du lait frais, et c'est par ce procédé qu'on prépare le célèbre beurre de la Prévalaye. Dans plusieurs comtés de la Grande-Bretagne, on bat la crème bouillie et l'on obtient, à ce qu'on assure, un beurre de bonne qualité. La propreté semble jouer un rôle important dans la fabrication du beurre; il faut éviter le contact des matières qui favorisent l'action des ferments, car le plus léger commencement de fermentation suffit pour lui donner ce goût que nous qualifions de rance, et qui provient de la mise en liberté d'une faible proportion d'acide butyrique.

Les principaux moyens de conservation du beurre tendent à paralyser l'action du lait de beurre, il contient en effet de la caséine et de l'albumine qui favorisent le développement des ferments. Il y a un procédé qui consiste à entasser le beurre dans des pots et à en couvrir la surface d'une couche de charbon en poudre qui empêche le contact de l'air; par suite le ferment ne peut plus agir. En Hollande on sale le beurre, c'est un bon procédé. Enfin on fond le beurre et on le laisse reposer; le caséum et le lait de beurre se rassemblent au fond du vase; par ce moyen, la fermentation est impossible, et l'on peut avoir ainsi du beurre d'excellente qualité.

Il y a des cultivateurs qui vendent le lait provenant du commencement de la traite et qui conservent la fin pour la fabrication du beurre. L'analyse a appris que le premier litre de la traite contenait 2 pour 100 de beurre, et le dernier litre 9 pour 100; le lait normal doit en contenir environ 4 1/2 pour 100. C'est au Conservatoire des arts et métiers que se fait l'analyse des laits que l'on suppose falsifiés. Dans une analyse, on trouva du lait ne renfermant que 2 pour 100 de beurre, il y eut poursuite et condamnation du marchand, celui-ci en rappela et assura qu'il n'avait point ajouté d'eau et que le lait lui avait été envoyé tel qu'on l'avait saisi. Le cultivateur qui l'avait fourni, affirma que le lait qu'il expédiait était tel que ses vaches le lui donnaient. Il fit venir le commissaire de l'endroit, et tira devant lui un litre de lait, on mit les scellés sur la bouteille, et on l'expédia au Conservatoire, qui ne trouva en effet que 2 pour 100 de beurre. Le commissaire, qui était convaincu de l'honnêteté du cultivateur, n'en avait pas moins été la dupe. Le Conservatoire se douta de la fraude et se fit envoyer un litre de lait provenant de la traite tout entière. On trouva, cette fois, 4 1/2 pour 100 de beurre.

L'identité de composition et de propriété qui semble exister entre certaines matières tirées du règne animal et du règne végétal conduit naturellement à penser que les animaux ne créent point les substances qui entrent dans leur organisation, mais qu'ils les trouvent toutes formées dans les aliments. D'où il faut conclure que les herbivores assimilent directement plusieurs des principes immédiats des végétaux, en ne leur faisant subir que de légères modifications, et que les éléments des tissus et des fluides animaux préexistent dans les plantes.

Voyons quelle quantité de lait pourrait être fournie par une certaine quantité de fourrage.

	Caséum et albumine.	Matières grasses.	Sucre et sel.
	kil.	kil.	kil.
100 kilogr. de foin contiennent...	7,2	3,8	44,4
180 — de lait —	7,2	7,9	6,8
Différence	0,0	+ 4,1	— 37,6

Pour une même quantité d'albumine, nous trouvons plus de matières grasses dans le lait qu'il n'y en a dans les 100 kilogr. de foin; il suffit de constater que les éléments du lait sont contenus dans le fourrage.

On peut se demander quelle est la quantité de beurre fournie par 100 kilog. de lait baratté. On trouve :

Au maximum	5,25
Généralement.....	3,00
Au minimum	2,50

Digitized by Google

On ne peut pas, par le barattage, extraire tout le beurre que renferme le lait. Une vache ne produit du lait que pendant une certaine période ; à Paris les laitiers en font fournir à leurs vaches jusqu'à ce qu'elles soient phthisiques, puis ils les envoient aux abattoirs.

Rendement d'une vache du poids de 600 kilogr. consommant par jour l'équivalent de 15 kilogr. de foin. Cette vache a vêlé le 24 novembre 1841, le lait a cessé le 30 septembre 1842 :

	Par jour.	
	lit.	lit.
Novembre	60	10
Décembre	310	8,9
Janvier	276	5,8
Février	186	6,0
Mars	181	6,0
Avril	180	6,0
Mai	187	6,0
Juin	180	6,0
Juillet	170	5,S
Août	127	4,1
Septembre	60	2,0
	1926	66,4

Le rendement moyen a été par jour de 6 litres. Il n'y a rien qu'on exagère autant que la quantité de lait qu'une vache peut donner par jour. J'ai entendu dire par un homme, dont on n'aurait guère songé à mettre en doute les assertions, qu'une de ses vaches en produisait jusqu'à 60 litres par jour. Voici quelques observations qui montrent la quantité de foin donnée à une vache et la quantité de lait produit par jour :

En France (Bas-Rhin), une vache pesant 600 kilogrammes et consommant journellement 15 kilogrammes de foin, donne de 6 à 8 litres de lait par jour ; — dans les Pays-Bas, pâturage à discrétion, 11 litres ; — en Suisse, 17kil,5 de foin, 7lit,3.

Observation faite sur une vache cotentine dans de riches herbages et pesant 545 kilogrammes.

	Lait par jour.
	lit.
En mai	20,74
— juin	19,47
— juillet	17,65

Le fourrage vert consommé représentait 30 kilogr. de foin par jour. Il serait difficile de faire manger 30 kilogr. de foin sec à une vache dans une journée, tandis que l'équivalent en herbe fraîche est facilement absorbé. Dans ce cas, la mastication et la digestion se font plus rapidement; dans un même temps il y a plus d'aliments ingérés.

L'aliment n'est pas seulement employé à la sécrétion du lait, il sert encore à fournir les matériaux des autres sécrétions et à former et à reconstituer les tissus de l'organisme.

100 kilogr. de foin produisent, poids vivant (animal sur pied) :

Bétail de 3 à 6 mois	5,2	
— à 9	7,8	
— à 10	7,2	
— à 16	8,5	Il y a engraissement à cet âge.
— à 17	4,2	
— à 18	9,4	
— à 19	7,3	

On a fait d'autres observations et l'on a constaté que 100 kilogr. de foin produisaient environ 7 kilogr. de poids vivant. Il faut, dans chaque localité, faire des expériences afin de savoir s'il est préférable de transformer 100 kilogr. de foin en lait ou en poids vivant. Aujourd'hui, il est plus avantageux de produire du lait. Paris en consomme 300 000 litres par jour, représentant le produit de 42 857 vaches. Il faut ajouter que les marchands de lait économisent 4 à 5000 vaches, en ajoutant par fraude, 10, 20, 30 pour 100 d'eau dans le lait.

Fabrication du fromage.

Le *fromage* est la *caséine* du lait ou le *caillé* qui a subi une certaine fermentation. Les nombreuses dénominations appliquées aux fromages indiquent des différences dans les procédés de fabrication, et non dans la matière première.

Le lait, avons-nous dit, est composé d'eau, de caséine, d'albumine, de lactose, de sels et de matières grasses en proportions diverses et variables. Abandonné à lui-même, il fermente, devient acide et se coagule. Ce phénomène est dû à la production spontanée d'acide lactique ; cet acide sature la soude qui paraît servir de dissolvant à la caséine et celle-ci, devenue libre, se précipite. L'acide lactique est le résultat de la fermentation qu'éprouve le sucre de lait ou la lactose sous l'influence de la caséine et de l'albumine elles-mêmes.

Les acides, l'alcool, le tannin, la plupart des sels métalliques, les acides de certaines plantes, etc., coagulent le lait, mais aucune de ces substances n'agit comme la présure dont on se sert habituellement pour la fabrication des fromages. Voici la manière de la préparer. On recueille les grumeaux, non encore digérés, qui se trouvent dans la caillette d'un veau nourri au lait. On les lave à l'eau fraîche et après les avoir essuyés avec un linge, on les met dans du sel, puis on les remet dans la caillette que l'on plie et que l'on fait sécher. Pour cailler le lait on élève sa température à 30 degrés environ, puis l'on fait agir la présure qu'on emploie, soit à l'état solide soit en fusion. Dans le premier cas, on plonge un morceau de caillette dans le lait, après l'avoir enveloppé dans un nouet de linge. Dans le second cas, on fait infuser pendant quelques heures de la présure avec un peu d'eau tiède que l'on verse dans le lait : 10 centimètres carrés d'une bonne caillette suffisent pour déterminer la coagulation d'une quantité de lait capable de fournir un fromage de 15 à 20 kilog. On ignore comment agit la présure ; on a prétendu qu'elle agissait, en déterminant, comme ferment azoté, la transformation d'une certaine quantité de sucre de lait en acide lactique, mais on a fait voir que cette explication est inadmissible. Il faut environ deux heures pour que le caillé soit bien pris, alors on le rompt avec un couteau à trois lames ou bien avec une cuillère de bois, pour favoriser la sortie du sérum. Le caillé divisé se rassemble au fond du vase, on le met dans une étamine ou bien on l'enveloppe d'un linge et on le place dans des moules de bois ou de terre percés de trous à la partie inférieure, puis on exerce graduellement une pression qui le débarrasse du sérum. Au bout de quelque temps, on enlève le caillé, on le brise en morceaux ou en particules très-fines à l'aide de la main ou d'un moulin spécial, puis on le soumet de nouveau à une pression graduée qui dure de douze à vingt-quatre heures. Cependant le degré de pression varie suivant le produit que l'on confectionne : les fromages fins sont à peine pressés; quelquefois ils ne le sont pas du tout. Quand le caillé est comprimé on le porte dans un endroit chaud, pour en sécher la surface ; ensuite on le sale en frottant alternativement les deux faces avec du sel en poudre. Cette méthode s'applique aux fromages de petite dimension ; lorsqu'il s'agit d'en préparer de plus gros, pour le commerce, par exemple, le procédé, quoique le même, n'est pas aussi simple. Dans ce

Digitized by Google

cas, lorsqu'on a séparé le caillé du sérum, on le reporte dans la chaudière pour lui faire subir pendant un quart d'heure une température de 60 à 70 degrés en le remuant avec une spatule de bois. On retire la chaudière du feu et l'on agite encore le caillé pendant un quart d'heure; on le met sur une toile, puis dans un moule, et l'on en expulse par la pression le sérum interposé. La salaison dure huit jours : chaque matin on le saupoudre de sel après l'avoir essuyé avec un linge. Il reste dans la chaudière du petit-lait qui, traité par la présure, abandonne encore du caillé dont on fait un fromage sec et très-pauvre en matière butyreuse. Enfin on peut extraire du sucre de lait du sérum qui reste.

Les fromages séjournent à la cave un temps plus ou moins long, pour y subir une espèce de fermentation de laquelle dépendent le goût et les autres qualités propres à chacun d'eux.

En résumé, la préparation du fromage comprend cinq phases distinctes :

1° Coagulation ou formation du caillé;
2° Division du caillé;
3° Pressage;
4° Salaison;
5° Fermentation ou maturation du fromage.

C'est en apportant de légers changements aux opérations qui précèdent, ou bien en agissant sur le lait de différentes espèces d'animaux, ou bien encore en faisant un mélange de ces laits, qu'on obtient un si grand nombre de variétés de fromages qui peuvent être divisés en quatre catégories :

1° Fromages mous et frais;
2° Fromages mous et salés;
3° Fromages à pâte ferme et pressée;
4° Fromages cuits à pâte plus ou moins dure et pressée.

Les fromages sont gras ou maigres suivant qu'on a écrémé ou non le lait avant de les fabriquer.

Nous allons indiquer brièvement la fabrication des quelques variétés les plus connues.

Le fromage de Neufchâtel est le type des fromages mous et frais; on le prépare en ajoutant au lait avant de le cailler de la crème fine levée sur d'autre lait; on fait agir la présure, on égoutte le caillé que l'on change de linge toutes les heures, et on l'enveloppe sous forme de petits cylindres dans du papier joseph mouillé.

Le fromage de Brie est le type des fromages mous et salés; pour le préparer, on ajoute la crème de la traite du soir au lait chaud de la traite du matin; on porte le mélange à la température de 36 degrés, on fait agir la présure, puis l'on égoutte et l'on presse le caillé qui, après avoir été mis en moule, est frotté pendant plusieurs jours matin et soir avec du sel. Ensuite on le met pendant trois jours dans la saumure et on le fait sécher. Pour affiner ce fromage, on le place sur un lit de paille où il s'y ressuie, fermente, et acquiert son goût caractéristique.

Le fromage d'Edam (de Hollande) est le type des fromages à pâte ferme et pressée. Le lait non écrémé est mis en présure aussitôt qu'il a été tiré, on laisse égoutter le caillé dans des formes de bois percées de trous, pendant douze jours environ et en ayant soin de le saupoudrer de sel matin et soir en le retournant. Ensuite on le soumet à une pression de 25 kilogrammes dans laquelle il reste, selon le volume, de deux à six heures; puis il est porté au séchoir, où il est retourné tous les jours pendant quatre semaines. On fait aussi, en Hollande, des fromages avec du lait écrémé; le caillé est pressé et mis en moule. Ces fromages sont mis pendant plusieurs jours dans une eau saumâtre; on les fait sécher et on les peint avec une huile siccative qui les préserve de l'action de l'air.

Le *fromage de Gruyère* est le type des fromages cuits, à pâte plus ou moins dure et pressée. Le *parmesan* rentre dans cette catégorie. Il y a plusieurs espèces de gruyères suivant que l'on a laissé toute la crème, ou bien, une partie seulement, ou bien qu'elle a été complétement enlevée. Ces fromages sont préparés par la méthode que nous avons indiquée précédemment, et qui consiste à porter le lait à 30 degrés, à égoutter le caillé et à le reporter sur le feu en le brassant pendant un quart d'heure à la température de 33 degrés environ. La fabrication de ces fromages a lieu spécialement en Suisse et dans nos départements des Vosges, du Jura et de l'Ain.

Tous les fromages dont nous venons de parler sont tous fabriqués avec du lait de vache, certains sont faits avec un mélange de lait de chèvre, de brebis et de vache, tel est le fromage du mont Cenis. Celui du mont Dore est fait avec du lait de chèvre; celui de Montpellier avec du lait de brebis, et le fromage si renommé de Roquefort, avec un mélange de lait de chèvre et de brebis.

La composition du lait de brebis diffère un peu du lait de vache quant aux proportions des substances contenues. En voici l'analyse :

Caséum	5,7
Beurre	4,7
Sucre de lait	4,8
Phosphate de chaux	0,8
Eau	84,0
	100,0

Dans l'Aveyron, il y a de gras pâturages qui ont jusqu'à 60 lieues carrées. On compte qu'il faut 15 hommes pour traire 500 brebis, et cette opération n'est pas facile, car on est obligé de flageller la mamelle pour avoir tout le lait qui y est contenu; on a surtout intérêt à recueillir la fin de la traite qui est, comme le lait de la vache, plus riche en beurre.

Ainsi : 16 kil. de lait sorti des trayons ont donné 1 kil. 15 c. de beurre. 16 kil. après flagellation ont donné 1 kil. 70 c.

Tout le lait qu'on extrait d'une mamelle n'y préexiste pas au moment qu'on s'approche de l'animal pour le traire, la plus grande quantité est appelée par la traction. La préparation de ce fromage n'a rien de spécial : on coagule le lait, on extrait le sérum, on égoutte le caillé et on le soumet à l'action de la presse. On le sale à plusieurs reprises, le sel se dissout et pénètre dans l'intérieur de la masse. Jusqu'à présent on ne voit pas ce qui fait de ce fromage un produit si recherché. C'est qu'en effet cette supériorité est indépendante de l'habileté du fabricant, et est due aux circonstances toutes particulières dans lesquelles la fermentation a lieu; la marche lente de celle-ci détermine des modifications qui n'ont lieu qu'à une température assez basse et constante. Les propriétaires des troupeaux portent leurs fromages à Roquefort, où ils sont mis dans des caves qui favorisent la fermentation caséique.

Ces caves, dont la valeur est considérable, sont adossées à un rocher calcaire qui entoure le village. Le rocher est fendu en tous sens et permet à l'air de s'introduire dans les caves sous forme de courants qui détermine le froid glacial qu'on y éprouve, et qui fait toute leur valeur : il n'y a de bonnes caves qu'où ces courants sont établis. Une cave bien aérée

Digitized by Google

qui a coûté 12 000 francs de construction a une valeur de 215 000 francs. Le froid y est tel qu'en été, lorsque le thermomètre extérieur marque à l'ombre 28 à 29 degrés, le thermomètre intérieur est au-dessous de zéro. Cette température intérieure varie suivant le vent qui souffle et l'orientation des fentes. Après huit ou quinze jours d'exposition dans ces caves on voit les fromages se couvrir d'une moisissure blanche, qui grandit rapidement et atteint 15 centimètres; on l'enlève et on en voit naître une seconde de couleur bleue, puis enfin, une rouge; c'est alors que se développent dans l'intérieur des cryptogames verts qui constituent les veines du fromage. Un industriel a cherché à fabriquer du roquefort dans les environs de Paris; mais les caves n'étant pas disposées de manière à conserver une température constante et suffisamment basse, les cryptogames verts ne se sont pas développés. Ce fabricant de roquefort eut alors l'idée de faire moisir du pain et d'ensemencer la pâte avec cette moisissure qui donnait au fromage ce marbré particulier au vrai roquefort. Il obtint ainsi un produit qui s'est souvent vendu pour du vrai roquefort.

Une brebis fournit annuellement :

Fromage (9 kilogr.)	9	15 fr.
Laine	4	
Un agneau livré à la boucherie à 3 semaines	2	

100 kilogrammes de lait produisent 20 kilogrammes de fromage de Roquefort dont la pâte, vieille de quatre à cinq mois, est blanche, onctueuse, sapide, veiné de bleu, et dont l'analyse a donné la composition suivante :

Caséum	29
Beurre	26
Phosphates et sels	7
Eau	38
	100

Après l'invasion des moisissures arrive l'invasion des vibrions qui altèrent le fromage. Il est difficile d'arrêter la fermentation caséique si l'on n'a pas une température très-basse. Aussi dans les pays chauds on met le fromage dans des boîtes de fer-blanc avec de l'huile, on soude, et en empêchant le contact de l'air, on arrête la fermentation caséique qui n'a pas lieu sans oxygène.

M. Brassier a fait des expériences sur la fermentation caséique :

	Frais.	2 mois.	4 mois.
Fromages	300	332	239
Eau	123	67	82
Matières sèches	177	165	157
Beurre	67	56	40
Sucre de lait	7	0	0

On voit qu'il y a eu destruction de beurre : c'est qu'en effet les cryptogames prennent leur substance dans la matière grasse. Quant au sucre de lait il a été détruit.

Les fromages sont sujets à des altérations dont la principale provient de certains insectes, tels que le ciron, les larves de la mouche vert-doré, de la mouche commune et de la mouche de la pourriture, etc. Un fromage contenant de ces animaux est dans un état avancé de putréfaction; quelques personnes le préfèrent dans cet état et le trouvent plus fort, c'est-à-dire d'une odeur plus relevée.

Nous avons dit que les animaux devaient rencontrer dans le règne végétal tous les éléments que nous trouvons dans leurs tissus et dans leurs sécrétions. Le caséum provient du fourrage, mais on le trouve surtout dans les graines des légumineuses, telles que pois, haricots, fèves, etc. Les Chinois pour faire leurs fromages vont plus vite que nous, au lieu de prendre le caséum dans le lait des animaux, ils le prennent directement dans les légumineuses. Ils réduisent les haricots ou les pois en farine, et obtiennent par des lavages la caséine qu'ils font coaguler; ils moulent et compriment le caillé qui est salé et porté dans des caves où il se couvre de moisissures et subit la fermentation caséique.

On vend partout, en Chine, du fromage de haricots très-recherché.

Henri Amaury.

BULLETIN DES COURS.

Athénée de Venise.

Parmi les conférences faites à l'Athénée de Venise pendant les mois derniers, on nous signale particulièrement celle de M. le professeur Giacinto Namias sur *quelques notions d'utilité générale touchant la vie et la santé de l'homme*. Chez les animaux inférieurs, les fonctions vitales s'accomplissent indistinctement par toutes les parties du corps; chez les animaux supérieurs, au contraire, on trouve appliqué le principe de la division du travail : chaque fonction est localisée dans des organes spéciaux; mais il y a des fonctions qui étendent leur influence au delà des limites entre lesquelles elles sembleraient d'abord devoir se renfermer, la respiration notamment. C'est à cette fonction dominatrice que M. Giacinto Namias a particulièrement consacré sa conférence. Il définit l'essence de cette fonction dans tous les corps organisés, un échange de certains éléments du fluide nutritif de l'être vivant avec certains éléments de l'atmosphère, et examine successivement les gaz exhalés et absorbés. C'est Lazzaro Spallanzani qui démontra par ses expériences que le contact de l'oxygène de l'air avec le sang veineux le fait passer de la couleur noire à la couleur rouge vermeil du sang artériel. M. Namias expose ensuite la structure de l'appareil respiratoire des animaux, et en particulier celui de l'homme; il décrit les rapports qui existent dans le poumon entre les canaux aériens et les ramifications des vaisseaux sanguins, et les mouvements du thorax qui font agir le poumon comme une sorte d'éponge absorbant et expulsant tour à tour l'air et le sang. Le génie de Léonard de Vinci avait déjà pressenti une analogie entre la respiration et la combustion, et c'est un autre Italien, Fracassati, qui vint plus tard confirmer cette prévision. Mais cette combustion respiratoire de l'hydrogène et du carbone ne s'accomplit pas dans les poumons; elle a lieu surtout dans les capillaires, et l'acide carbonique existe tout formé dans le sang lors de son arrivée dans les poumons. Dans la dernière partie de sa conférence, M. G. Namias examine d'une manière plus particulière le mécanisme des mouvements respiratoires pour en déduire diverses applications pratiques, et notamment les secours convenables pour combattre l'asphyxie; enfin il termine en montrant comment les phénomènes respiratoires se lient à l'harmonie générale de la nature, l'acide carbonique exhalé par les animaux servant à la respiration des plantes qui exhalent, au contraire, de l'oxygène par leurs parties vertes sous l'influence de la lumière, et ainsi se trouve maintenue la composition constante de l'atmosphère.

CONFÉRENCES SCIENTIFIQUES (Seconde série).

M. Domenico Turazza : Exposition populaire de la théorie mécanique de la chaleur.
M. Francesco Rosetti : Des principaux phénomènes optiques.
M. Antonio Marini : L'œil.
M. Cesare Subbadini : La vie.
M. Francesco Mazzi : Métamorphoses des animaux.
M. Moïse Levi : Éducation physique de l'homme.
M. Giovanni Bizio : Désinfection.
M. Fedele Lampertico : Les machines.
M. Michele Treves : Électricité atmosphérique.

Le propriétaire-gérant : Germer Baillière.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE — NUMÉRO 29 — 16 JUIN 1866

SOIRÉES SCIENTIFIQUES D'AUXERRE.

CONFÉRENCE DE M. HÉBERT.

Les oscillations de l'écorce terrestre pendant les périodes quaternaire et moderne (1).

SOMMAIRE : Dépôts coquilliers marins et plages soulevées dans les Iles-Britanniques et la Scandinavie. — Affaissement et immersion de ces contrées entre la période tertiaire et la période actuelle. — Grands glaciers antérieurs à cette immersion. — Lenteur et intermittence de l'affaissement ; forêt de Cromer ; faune terrestre de cette époque. — Maximum de l'immersion ; glaces flottantes ; formation erratique du nord de l'Europe. — Oscillations de la période quaternaire ; leurs effets : érosions, creusement des vallées.

Oscillations de la période actuelle. — Hémisphère boréal. — Zone d'exhaussement du nord. — Zones d'affaissement de la plaine d'Europe et du détroit de Davis. — Exhaussement de la zone circumméditerranéenne ; effet général. — Hémisphère austral. — Zone d'exhaussement de l'Amérique. — Zone d'affaissement du grand Océan. — Zone d'exhaussement des lignes volcaniques du grand Océan. — Zone d'affaissement de l'Australie et de l'océan Indien. — Zone d'exhaussement de l'Afrique. — Flexibilité de l'écorce terrestre. — Durée de ces mouvements. — Le temps en géologie.

Le voyageur qui parcourt en observateur le nord de l'Europe, les Iles-Britanniques comme la Scandinavie, est étonné de rencontrer à de grandes hauteurs des traces évidentes d'un séjour récent de la mer.

Des amas de coquilles d'espèces vivant actuellement dans les mers voisines, se trouvent en Angleterre, au mont Snowdon, dans le pays de Galles, à 420 mètres d'altitude, en Écosse, à 157 mètres, en Irlande, à 180 mètres, en Suède, à Uddevalla, à 60 mètres, en Norvége, à 150 mètres. De ces coquilles, un assez grand nombre ne vit plus aujourd'hui que dans les mers arctiques.

L'observateur n'a pas à se demander longtemps ce qui a pu porter ces coquilles à des hauteurs si considérables. La seule inspection des sables et des argiles au milieu desquels elles sont disséminées lui prouve qu'il a affaire à de véritables dépôts marins, effectués sur place, et nul, en effet, n'est venu contester que la mer n'ait recouvert les lieux que je viens de citer. Elle a même atteint un niveau bien plus élevé, car ce même terrain s'étend sans interruption, quoique privé de coquilles marines, en Angleterre, à 700 mètres, en Écosse et en Irlande, à 500 mètres, en Scandinavie, à 200 mètres.

Sans doute, on sait que c'est par la mer qu'ont été formées des masses minérales, remplies de coquilles marines, qu'on trouve aujourd'hui dans les montagnes à 3000 mètres d'altitude, et quelquefois beaucoup plus haut encore ; mais ici ce sont des formations très-anciennes par rapport aux dépôts de coquilles dont nous venons de parler, et l'on conçoit qu'avec le temps les mouvements successifs de l'écorce terrestre aient pu amener de tels changements de niveau. Dans ces couches anciennes, vous n'y trouvez d'ailleurs que des êtres différents de ceux qui vivent aujourd'hui.

Le sol d'Auxerre, qui fait partie du terrain secondaire, n'est formé que de débris d'animaux marins, mais pas un seul ne se retrouverait dans les mers actuelles. Il en est de même du sol de Paris, bien que ce dernier soit plus récent, appartenant au terrain tertiaire. Ce n'est qu'à la fin de la période tertiaire qu'on commence à voir apparaître des espèces identiques avec les espèces actuelles ; mais toujours accompagnées d'un grand nombre d'espèces aujourd'hui éteintes.

La faune de la fin de la période tertiaire nous est bien connue, c'est donc avec toute certitude que nous pouvons affirmer que les dépôts de coquilles, recouvrant les lieux élevés dans les Iles-Britanniques et en Scandinavie, appartiennent à une période postérieure à la période tertiaire.

Mais nous connaissons aussi la circonscription des mers à la fin de la période tertiaire ; ces mers ont laissé des traces incontestables des rivages qui les limitaient, au nord-ouest de la France, dans le Cotentin ; à l'est de l'Angleterre, dans le comté de Suffolk ; au nord de la Belgique, à Anvers. Les sables des Landes semblent leur avoir servi de plage au sud-ouest, et les contours de la Méditerranée d'alors, quoique un peu plus étendue qu'aujourd'hui, ne s'écartaient pas beaucoup des rivages actuels.

On est donc en droit d'affirmer qu'à cette époque le niveau des mers autour de l'Europe était à peine plus élevé qu'aujourd'hui. Alors aussi, les vallées qui accidentent d'une manière si heureuse toutes nos régions n'existaient pas, non plus que les canaux, à falaises escarpées, qui séparent actuellement l'Angleterre, l'Irlande, la France, etc.

De vastes plaines marécageuses couvraient la plus grande partie de l'Europe. Des cours d'eau à peine encaissés, habités par d'énormes hippopotames, les parcouraient lentement, tandis que des troupeaux d'éléphants et de rhinocéros peuplaient les forêts qui servaient à leur nourriture.

Ce caractère de plaines marécageuses, sans cours d'eau encaissés, aboutissant à des mers sans falaises, a été le propre des longues périodes géologiques, jusqu'à la fin de la période

(1) Les géologues admettent que l'intérieur de la terre est liquide ; que par le refroidissement de ce liquide, sa cristallisation, etc., ont été produites les roches solides, mais que cette solidification n'a encore atteint que l'enveloppe extérieure sous une profondeur de douze à quinze lieues. Cette enveloppe, à peine égale en épaisseur à la centième partie du rayon terrestre, est ce qu'on désigne sous le nom d'*écorce terrestre*.

Digitized by Google

tertiaire. Il semble que, dans ces temps antérieurs à l'homme, la terre et l'eau n'avaient point encore leurs limites déterminées. Pour se faire une idée de ce qu'était alors notre Europe, il faut lire la description de l'Afrique centrale du voyageur anglais Livingstone : même relief général; même sol fangeux, insalubre, impropre à la civilisation; mêmes animaux pullulant à l'aise dans les mêmes conditions.

Toutefois ces animaux, éléphants, rhinocéros, hippopotames, appartenaient à des espèces différentes des espèces actuelles. A en juger par le petit nombre des ossuaires qui restent, les débris de ces populations ont dû joncher le sol de la France, de l'Angleterre, de l'Italie, etc. En France, dans les plateaux élevés du Velay, certains champs sont remplis de leurs débris; comme à Saint-Prest, auprès de Chartres, une petite portion du lit d'un ancien fleuve, exploitée comme sablière, a fourni une quantité innombrable d'ossements d'éléphants et d'hippopotames.

Tel était l'état de la surface de notre Europe à la fin de la période tertiaire, de cette surface qui a dû ensuite s'enfoncer de 2 à 700 mètres, de l'est à l'ouest, sous les eaux d'une mer plus froide que la mer tertiaire, plus froide même que la mer du Nord actuelle, pour y recevoir ces bancs de sables, d'argiles et de coquilles, dont on voit les restes au Snowdon, en Scandinavie, etc.

Mais ce n'est pas tout; cet affaissement si extraordinaire avait été précédé d'un phénomène inverse. Écartez, en effet, les dépôts de cette mer, et examinez la surface des roches qu'ils recouvrent. Partout, dans les Iles-Britanniques, comme en Scandinavie, ces roches sont polies, striées, burinées, exactement comme celles sur lesquelles aujourd'hui s'avancent lentement les glaciers des Alpes.

Ces stries partent des sommités et s'étendent en rayonnant dans tous les sens, suivant les pentes du sol, quelquefois jusque sous les eaux de la mer. Elles remontent en Scandinavie jusqu'à 1800 mètres d'altitude, en Écosse jusqu'à 900 mètres, en Irlande jusqu'à 750 mètres.

A cette époque donc les terres étaient plus élevées, on peut même dire beaucoup plus élevées qu'aujourd'hui; or, cette élévation générale du nord-ouest de l'Europe changeait singulièrement l'étendue relative des terres et des mers. Pour s'en rendre compte, supposez un simple exhaussement de 180 mètres, ce qui est certainement au-dessous de la vérité; voici la forme nouvelle de cette partie du continent.

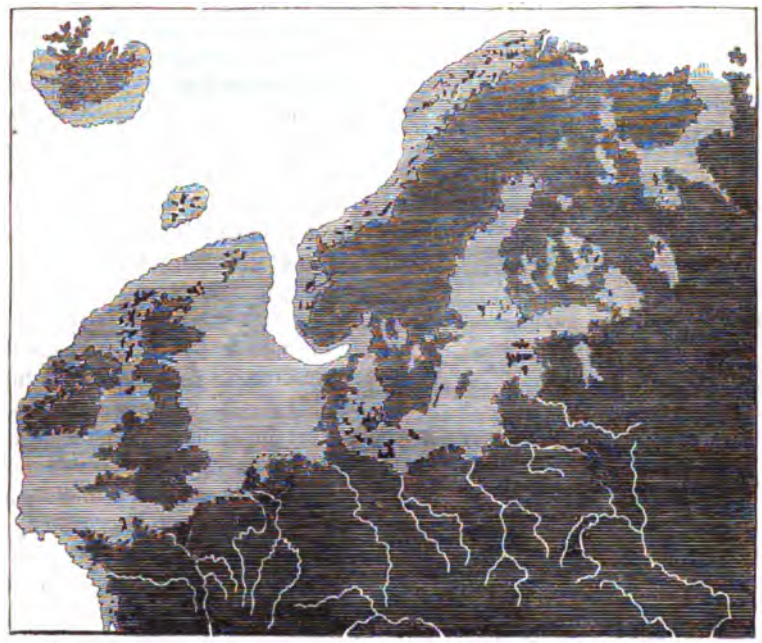


Fig. 183. — *Carte de l'Europe septentrionale en supposant un exhaussement de 80 mètres* (1). La demi-teinte indique ce qui s'ajouterait aux terres actuelles.

Alors un vaste linceul de neige et de glace couvraient les Iles-Britannique et surtout la Scandinavie; l'état physique de ce dernier pays devait avoir une grande ressemblance avec l'état actuel du Groënland. La température devait être dans toute cette vaste région considérablement refroidie, tant en raison de la présence de ces glaciers que de l'éloignement des courants d'eau chaude, qu'apporte le *Gulfstream*.

Il faut se rappeler qu'à partir du milieu de la période tertiaire, on voit ce mouvement d'exhaussement des continents se poursuivre progressivement; qu'en même temps la température baisse. Tout cela est prouvé par l'étude des débris organiques de ces époques, aussi bien que par les changements dans le littoral des mers. L'époque des grands glaciers sur laquelle nous venons d'insister correspond donc à un maximum de froid aussi bien qu'à un maximum d'exhaussement de l'Europe. Sans doute, de pareils changements ont eu, sur les êtres vivants, une influence considérable, beaucoup d'espèces ont disparu, et par le froid, et peut-être aussi sous l'empire de cette loi mystérieuse qui préside à la succession des êtres.

Puis le sol s'affaisse, la température s'élève, les glaciers fondent, la mer les remplace, laissant des traces irrécusables de son séjour aux lieux qu'ils occupaient, et à 900 mètres au moins de différence d'altitude pour le pays de Galles.

Ne croyez pas que cet affaissement de 900 mètres se soit fait brusquement; nous avons des preuves du contraire. Sur la côte orientale d'Angleterre, à Cromer dans le Norfolk, il existe une forêt sous-marine, visible lors des basses eaux, dont l'étendue a été reconnue sur plus de 64 kilomètres de longueur. De nombreux troncs d'arbres encore debout, leurs racines enfoncées dans un limon qui semblent être le produit de la fusion des glaciers, ne permettent pas le plus léger doute sur le développement sur place de cette forêt. Or, quelques-uns de ces arbres ont près d'un mètre de diamètre. Il a fallu le temps nécessaire à la fusion de ces immenses glaciers, à la naissance et au développement de la végétation sur le limon consolidé; tout cela antérieurement à l'immersion de la contrée sous la mer.

Dans le limon qui porte cette forêt, de nombreux ossements d'éléphants, de rhinocéros et d'hippopotames, associés à des ossements de daims, de cerfs, de cheval, de bœufs, etc., attestent que la contrée était alors très-peuplée; et cette population de mammifères se rapproche beaucoup plus de

(1) Cette carte est en grande partie empruntée à celle qui a été donnée en 1834 par M. de la Bèche, et reproduite modifiée, conformément à l'état actuel des connaissances hydrographiques, par sir Ch. Lyell (*Ancienneté de l'homme*, p. 293, Paris, J. B. Baillière, 1864).

Digitized by Google

la faune actuelle que de la dernière faune tertiaire, dont je vous entretenais tout à l'heure.

Toutefois, le même éléphant existait encore (*E. meridionalis*) et en grand nombre, aussi bien que son vieux compagnon l'*hippopotamus major*, mais de nouvelles espèces étaient survenues, c'étaient deux éléphants (*E. primigenius*, *E. antiquus*), puis le cheval et de nombreux ruminants.

Comment les uns ont-ils pu franchir sans périr cette terrible période de froid? d'où venaient les autres? Pour la première question les découvertes futures nous éclaireront sans doute; quant à celle de l'apparition des espèces nouvelles, sur laquelle on émet tant d'opinions aventurées, tenez pour certain qu'elle sort de notre compétence. C'est un de ces mystères qu'il nous est donné de constater, et dont l'explication recule d'autant plus qu'on en connaît mieux toutes les conditions.

Il y en a eu bien d'autres, d'ailleurs, tout autour de nous. Plus la science est avancée, plus elle se rend compte de l'impossibilité de s'en emparer. L'ignorance seule s'imagine que la science humaine est toute-puissante, et c'est là un des avantages de la géologie, elle fait à l'homme sa mesure, tout en lui inspirant une juste fierté pour le vaste domaine qu'elle lui livre à exploiter et à agrandir indéfiniment.

Mais revenons à nos mouvements du sol.

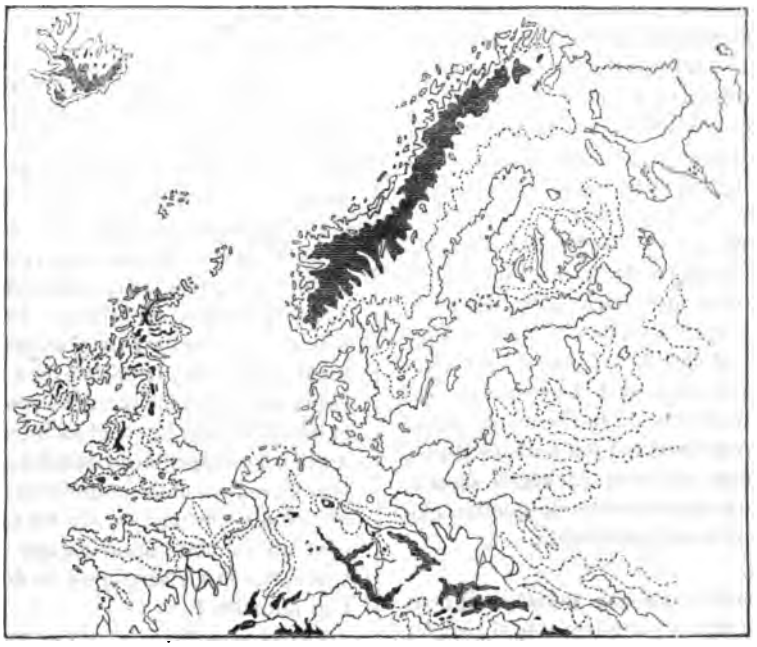


Fig. 184. — La ligne pointillée indique le rivage de la mer en supposant un affaissement de 170 mètres. Les parties noires représentent ce qui resterait hors des eaux dans le cas d'un affaissement de 700 mètres.

La forêt de Cromer est recouverte de couches marines, de bancs d'huîtres, alternant avec des lits d'argile remplis de végétaux terrestres, de coquilles d'eau douce et aussi d'ossements des mammifères dont nous venons de parler.

Le sol s'est donc affaissé lentement et en masse, car rien n'est disloqué; une succession de petites oscillations ascendantes et descendantes a permis tantôt à la mer d'occuper tranquillement ces lieux et aux huîtres de s'y développer, tantôt à des marécages, à des tourbières de s'y établir. Pour tout cela que de temps!

Ce n'est que postérieurement que le sol des Iles-Britanniques a commencé à s'affaisser et la mer à atteindre des parties de plus en plus élevées. Elle commence par isoler les massifs principaux. Lorsque l'affaissement est de 170 mètres, la Grande-Bretagne est devenue un archipel formé d'îles encore assez grandes.

Un pareil affaissement pour le nord de la France ne laisse guère, hors des eaux, que les sommités du pays de Bray et du Boulonnais, l'Ardenne et les collines de la Bretagne. Tout le reste est submergé: les Pays-Bas, toutes les plaines de l'Allemagne, au nord des montagnes Hercyniennes, le Danemark, toute la Suède méridionale; la Finlande est détachée de la Russie, etc.

Mais vous vous souvenez que nous avons pour les Iles-Britanniques des preuves du séjour de la mer à 500 et 700 mètres d'altitude; alors on ne voit plus au-dessus des eaux que les sommités les plus élevées, telle que l'indique cette nouvelle carte. Ce ne sont plus que des îlots qui pointent çà et là pour marquer la place des plus hautes montagnes.

La Scandinavie ne s'est enfoncée que de 200 mètres, aussi reste-t-il une étendue assez grande de terres émergées; mais c'est aussi une île, la mer circule librement à travers la région des lacs, s'étendant de la mer du Nord à la Baltique, de celle-ci à la mer Glaciale. Des bancs d'huîtres se fixent sur les hauteurs qui dominent le lac Vener et les rives actuelles du golfe de Bothnie. Or, vous le savez, il n'y a plus d'huîtres dans la Baltique. Il faut pour l'existence de ces mollusques 18 à 37 pour 1000 de sel; la Baltique aujourd'hui n'en contient plus que de 5 à 10; mais alors la salure était uniforme, en raison de la libre communication des eaux.

Ce mouvement général d'affaissement, qui entraînait à la fois la Scandinavie et les Iles-Britanniques jusque dans leurs parties méridionales, ne pouvait pas être restreint à ces régions; c'était, par ces latitudes, une flexion de l'écorce terrestre. La France a nécessairement suivi ce mouvement, et le reste de l'Europe septentrionale également, l'Allemagne, la Russie, etc. Dans ces dernières contrées, nous en trouvons, comme vous allez le voir, des preuves certaines.

Tout ce que nous appelons aujourd'hui la grande plaine de l'Europe servait donc de fond à une mer, dont les eaux étaient en communication directe avec les régions polaires, encore couvertes de cette calotte de glace qui, précédemment, s'étendait jusqu'au sud de la Scandinavie et de l'Angleterre. Pour nous faire une idée de l'état physique de cette mer, jetons les yeux sur l'océan Glacial actuel.

Vous savez ce que sont aujourd'hui les glaciers du Grœnland.

Sur une largeur de 1300 kilomètres de l'ouest à l'est, et une longueur bien plus grande du nord au sud, ce vaste continent est enseveli sous une masse continue et colossale de glace permanente, à travers laquelle perçent çà et là quelques cimes abruptes. Cette masse puissante s'avance vers la mer d'un mouvement régulier, portant à sa surface, ou dans son intérieur, des blocs de rochers éboulés des montagnes dont elle longe les flancs. Quand elle atteint la mer, elle y pénètre sans se briser, râclant le fond qu'elle doit polir et entailler à des profondeurs plus ou moins considé-

Digitized by Google

rables, et dont elle doit aussi entraîner des masses argileuses ou sableuses qu'elle agglutine par la congélation.

A la longue, la glace étant plus légère que l'eau, lorsqu'elle plonge assez pour flotter, il s'en détache de véritables montagnes qui s'en vont à la dérive, dans la mer de Baffin, s'avancent lentement vers le sud, diminuant de volume par la fusion, et semant en route la boue, les graviers et les rochers qu'elles apportent du nord. Les navigateurs ont rencontré de ces blocs de glace qui avaient 500 mètres d'épaisseur et 24 kilomètres de longueur; aujourd'hui le transport par la glace s'effectue jusqu'au delà du banc de Terre-Neuve, plus bas que New-York, à 40 degrés de latitude.

Ce phénomène agit encore sur une plus large échelle dans l'hémisphère méridional. Les glaces flottantes y vont jusqu'au 36e degré de latitude sud. Là, si vous découpez dans l'Océan une zone correspondant en latitude à la Baltique, à l'Angleterre, la France, l'Allemagne, la Suède et l'Italie du Nord; si vous supposez que le fond inégal de cette portion de la mer devienne une terre ferme par l'effet d'un exhaussement, vous verriez cette terre couverte de blocs énormes de rochers venus, les uns du continent atlantique, les autres d'îles couvertes de glaciers, telle que la Nouvelle-Géorgie qui n'est cependant qu'à la latitude du Danemark.

Tous ces blocs, ainsi charriés par des glaces flottantes, ont des caractères qui ne permettent pas de les méconnaître. Ils ne sont point roulés comme ceux que charrient les fleuves et les torrents, encore moins comme ceux de nos côtes, chaque jour repris et remaniés par le flot. Leurs arêtes sont vives et tranchantes; de plus, ils présentent à leur surface ces stries, ces cannelures qu'en dehors du burin manié par la main de l'homme, la glace en mouvement sait seule produire, à l'aide des cailloux anguleux qui sont enchâssés dans sa masse, le long des parois rocheuses contre lesquelles elle exerce dans sa marche une pression considérable.

Eh bien, messieurs, reportez-vous aux contrées où nous avons signalé la présence de la mer, attestée, à de si grandes hauteurs, par des dépôts de coquilles marines. Sur de vastes surfaces, ces contrées sont couvertes de ces matériaux, évidemment transportés par les glaces. Les dépôts de coquilles marines, comme les anciennes forêts, telles que celle de Cromer, tout cela est revêtu de ce manteau général, qui prouve, dans ces régions, l'existence et la longue durée d'un phénomène tout à fait semblable à celui qui a lieu aujourd'hui, le long des côtes orientales du Canada et de l'Amérique du Nord, ainsi que dans l'océan Antarctique.

Dans la Scandinavie, ce dépôt est réellement continu, le Danemark offre à chaque pas des masses énormes de granite, de gneiss ou de porphyre tout à fait étrangères à la contrée. Pour retrouver des roches pareilles, il faut remonter plus au nord dans les montagnes de la Suède et de la Norvége, et souvent dans les parties les plus septentrionales. Un fait remarquable, c'est qu'en Suède de vastes superficies, sans la présence de ce dépôt de transport, eussent été un véritable désert, inculte et inhabitable, car le sous-sol n'est formé que d'une roche compacte granitique ou gneissique, comme certaines parties arides et nues de notre plateau central, qu'on traverse en allant du Puy à Alais, par la montagne.

Toute la partie de l'Allemagne septentrionale qui est au nord des monts Hercyniens est couverte de ce même terrain de transport, comme aussi le nord de la Russie d'Europe et de l'Amérique; et il n'y a pas à se tromper sur l'origine de ces matériaux, car non-seulement certaines roches cristallines n'ont d'analogues qu'en Suède ou en Finlande, mais encore on rencontre dans les plaines de la Prusse les calcaires siluriens de Gothland ou de la Scanie avec leurs fossiles si caractéristiques.

Il faut donc croire, à n'en pas douter, à cette époque d'immersion et de glaces flottantes, postérieure à l'époque des exhaussements et des grands glaciers, sans compter les époques intermédiaires pendant lesquelles se sont développées les forêts, aujourd'hui submergées et enfouies sous le terrain de transport glaciaire, forêts où ont vécu côte à côte, l'*Elephas meridionalis*, l'*Elephas antiquus*, l'*Elephas primigenius*, etc.

Voilà de grands phénomènes bien et authentiquement constatés, qui sont venus entre la période tertiaire et la période actuelle. Ils font partie de ce que nous appelons la *période quaternaire*.

Je ne saurais avoir la prétention de vous raconter tout ce qui s'est passé dans cette période, car après cette immersion il y a eu encore une succession d'exhaussements et d'affaissements, avant que la surface de notre globe ne prît la forme qu'elle nous offre aujourd'hui.

Ces mouvements oscillatoires ont permis à la mer de ronger le sol de nos continents, de creuser les vallées des fleuves, les bras de mer à falaises escarpées comme la Manche, le canal Saint-George, etc. Ils ont eu pour résultat principal de donner aux eaux un emplacement plus stable et un écoulement plus facile. Rappelez-vous ces immenses plaines marécageuses où paissaient en troupes nombreuses les rhinocéros et les éléphants; les voici maintenant découpées et assainies. Au lieu de nappes d'eau indéfiniment étendues, vous avez aujourd'hui de grandes et profondes vallées, avec leurs cortéges de vallons secondaires. En un mot, ne voyez-vous pas que c'est un immense drainage que la Providence a exécuté pour approprier la surface du sol au développement de la civilisation humaine ?

Ce qui caractérise la *période quaternaire*, c'est précisément la grande intensité, l'extrême étendue de ces mouvements oscillatoires. De tout temps l'écorce terrestre a été soumise à de lentes et incessantes oscillations, mais jamais leur amplitude n'a atteint les proportions de celles dont nous venons de parler.

Quant à la *période actuelle*, les documents historiques les plus anciens nous montrent que, s'il est resté dans le souvenir des peuples des traditions relatives à de grandes inondations, néanmoins l'état de notre globe a peu varié. Depuis les Romains, par exemple, la France n'a subi que d'insignifiantes modifications, tant dans son littoral qu'à sa superficie, et cependant les oscillations continuent, les mouvements d'exhaussement et d'affaissement des continents sont loin d'être anéantis. En un mot, l'écorce terrestre ne cesse point d'éprouver les effets de cette mobilité qui est son caractère le plus essentiel, et qui est une conséquence de la constitution de notre globe.

Il y a près d'un siècle et demi qu'un Suédois, Celsius, annonça que les eaux de la Baltique, et même de tout l'océan du Nord, baissaient. Dès 1731, l'Académie d'Upsal mit ce phénomène à l'étude, et l'on a ainsi constaté, non pas que le niveau des eaux diminuait, mais que le sol de la Scandinavie et le fond des mers voisines s'élevaient. Cet exhaussement est, en effet,

Digitized by Google

plus rapide au nord qu'au sud, il est de 1m,50 par siècle au cap Nord, et de 1 mètre à Marstrand ; c'est l'évaluation à laquelle Celsius était arrivé.

De nouvelles îles apparaissent dans le golfe de Bothnie et de Finlande ; si la progression continue, dans 2000 ans, le golfe de Torneo sera un lac semblable à ceux qui occupent les dépressions du granite sur toute la surface de la Finlande, et 1800 ans plus tard, Stockholm sera rattachée à cette province par les îles d'Aland transformées en isthme.

Ce que je vous disais tout à l'heure de l'ancienne jonction de la Baltique avec la mer Glaciale d'une part, avec la mer du Nord de l'autre, est donc démontré, non pas seulement par les observations purement géologiques, mais encore par ce qui se passe aujourd'hui sous nos yeux, par ce mouvement ascensionnel dont on a en chaque lieu la mesure exacte.

Rien n'est plus facile au voyageur que de le constater. Beaucoup d'entre vous ont eu l'occasion de se promener le long des plages de nos côtes ; ils ont pu remarquer que deux cas se présentent, ou bien le flot à marée haute vient battre la falaise, ou bien il vient expirer sur la plage. Dans le premier cas il se forme au niveau supérieur des eaux une trace continue creusée à la fois par le choc de la vague et par certains animaux qui se plaisent à la limite des eaux salées. C'est là que les pholades, les balanes, s'appliquent de préférence aux rochers qu'ils perforent pour s'y pratiquer une demeure. Si le niveau change, ces lignes se déplacent.

Dans le second cas, le flot accumule un cordon continu de galets roulés qu'il ne franchit que momentanément et dans les plus grandes tempêtes. Ce cordon littoral, si le sol s'affaisse, sera progressivement poussé à l'intérieur des terres ; s'il s'élève, il s'élargira du côté de la mer, et si le mouvement est saccadé, plusieurs cordons se formeront ainsi en retrait les uns sur les autres.

Le navigateur qui longe les côtes occidentales de la Norvége, observe partout ces traces d'anciens rivages ; il peut constater ainsi qu'elles ne sont point parallèles au niveau de la mer, mais qu'elles s'élèvent vers le nord et aussi vers l'intérieur du continent, ce que permettent de vérifier de longs golfes étroits (*fiords*) qui découpent ces côtes.

Ce mouvement d'exhaussement actuel a été constaté au Spitzberg, où d'anciennes plages s'élèvent aujourd'hui à 45 mètres de hauteur ; sur les côtes septentrionales de la Sibérie, où l'on rencontre à 40 ou 50 kilomètres du rivage des bois flottés et jetés par les vagues, où une terre qui était une île, en 1760, s'est trouvée, en 1820, rattachée au continent ; en Écosse, où de nombreuses et fortes preuves montrent que le sol s'est élevé d'environ 8 mètres depuis les Romains.

Suivez sur cet hémisphère la vaste étendue de cette région soulevée, l'Écosse, la Scandinavie, la Finlande, le Spitzberg, la mer du Nord, vous arrivez ainsi aux côtes orientales du Groënland. Les bulles du pape prouvent qu'au IXe siècle, il y avait des missions danoises au Groënland ; à la fin du XIVe siècle (1), ces côtes, enfouies aujourd'hui sous les glaciers et complétement inabordables, étaient le siége de colonies prospères ; on y comptait deux villes avec une cathédrale, onze églises, trois ou quatre monastères et trois maisons royales. Chaque année, une flottille venait de la mère-patrie par l'Islande échanger les approvisionnements nécessaires contre les produits de la chasse et de la pêche, à l'époque où le passage était libre par la fonte des glaces. Une année, en 1408, le passage ne fut pas libre, les glaces restèrent prises, les communications interrompues, et depuis lors se sont formés ces

Fig. 185.

immenses glaciers qui recouvrent peut-être les habitations et les squelettes des colons morts de faim et de froid, dont une partie avait été précédemment massacrée par les Esquimaux. Il paraît bien probable que le refroidissement de ces parages a été la conséquence du mouvement général d'exhaussement. Ce mouvement devait en effet déterminer une diminution dans la température, surtout par la déviation qu'il devait amener dans la direction du Gulfstream qui s'est trouvé rejeté plus à l'est.

Voilà donc une large zone de notre globe, s'élevant progressivement et lentement par un mouvement qui entraîne le sol des continents aussi bien que le fond des mers, sans manifester sa présence par des dislocations brusques ou locales, et qui n'est sensible que par sa longue durée.

D'autres régions s'affaissent au lieu de s'élever ; c'est encore à un Suédois que nous devons la découverte de ce fait, qui depuis a été bien généralisé. En 1837, M. Nilsson annonça que la Scanie, partie méridionale de la Suède, éprouvait depuis plusieurs siècles un mouvement d'affaissement. Un rocher dont Linné, en 1749, avait mesuré la distance à la mer, en était plus rapproché de 30 mètres ; des rues, dans certaines villes de la Scanie, se trouvaient au-dessous du niveau de la mer, et même quelquefois au-dessous des plus basses marées ; une tourbière, formée de plantes terrestres et d'eau douce est aujourd'hui sous les eaux de la mer.

Il est constaté aussi que la mer empiète sur les côtes méridionales de la Baltique en Prusse et en Poméranie. Une province, appelée Witandu, occupait à l'époque de l'ordre teutonique l'emplacement où est aujourd'hui le golfe de Kœnigsberg.

(1) *Revue des cours scientifiques*, 21 octobre 1865, p. 767, cours de M. de Quatrefages.

Digitized by Google

Des forêts sous-marines se voient le long des côtes de la Poméranie, du Schleswig et du Hanovre. M. Élie de Beaumont a montré que les changements survenus dans les Pays-Bas indiquaient un affaissement général du sol. Des constructions romaines sont aujourd'hui sous la mer, en avant du cordon littoral; on a vu, depuis les temps historiques, des tourbières envahies par la mer; les lacs de Harlem perler sur le sol, grossir peu à peu, se réunir, et s'étendre vers le milieu du XVIIe siècle en une mer intérieure.

Depuis, les hommes, dans leur lutte énergique contre les éléments, ont desséché cette mer, mais les digues continuent à s'affaisser, et l'avenir ne peut être douteux.

Poursuivons notre marche à travers l'ouest; les tourbières de la vallée de la Somme ont leur fond au-dessous du niveau de la mer.

Les côtes de Normandie sont bordées de forêts sous-marines, dont la submersion a pu être suivie et constatée par des documents authentiques; les côtes de Bretagne, celles d'Angleterre qui leur font face, portent aussi de nombreuses traces de l'empiétement de la mer.

Ainsi, au sud de la zone qui s'élève, il existe en Europe une zone d'affaissement. Elle correspond sensiblement avec ce que les géographes appellent la *plaine de l'Europe*.

De même, sur les côtes occidentales du Groënland; le docteur Pingel, naturaliste danois, a constaté que, pendant les quatre siècles derniers, la mer avait empiété sur les terres sur une longueur de plus de 900 kilomètres, du nord au sud. A plusieurs reprises, on s'est trouvé dans la nécessité de reporter plus loin divers établissements formés près du rivage.

En face, le long des côtes de l'Amérique du Nord, dans la baie de Fundy, à la Nouvelle-Écosse, des forêts submergées prouvent que le nord de l'Amérique participe au mouvement d'affaissement des côtes occidentales du Groënland, qui semble ainsi entraîner tout le détroit de Davis.

Voilà donc, au sud et à l'ouest de la zone qui s'exhausse, deux zones qui s'affaissent, celle de la plaine d'Europe et celle du détroit de Davis. Si ce mouvement se prolongeait dans la baie de Baffin, et dans la direction de cette série de passages qui semblent le chemin le plus direct pour aborder le détroit de Behring, et entrer dans l'Océan Pacifique, on pourrait espérer qu'il finirait par frayer de ce côté, dans l'avenir, une route facile et sûre.

Ces oscillations du sol ne sont point exclusivement propres aux contrées dont nous venons de parler. Celles qui entourent la Méditerranée sont peut-être, plus qu'aucune autre, sujettes à ce phénomène. Dans certains points, comme pour le temple de Sérapis, près Pouzzoles, on a pu constater une nombreuse succession d'affaissements et d'exhaussements; en ce moment même, les îles Santorin fournissent un exemple de ces mouvements accidentels; mais, en somme, la partie continentale s'accroît aux dépens de la mer. Les ports de Carthage et d'Utique sont à sec, et dans l'intérieur des terres; l'Égypte s'est exhaussée d'une manière notable depuis les temps historiques, malgré quelques affaissements locaux; l'Afrique entière a participé à ce mouvement; l'Asie Mineure s'élargit aux dépens de la mer Égée, etc.

En tenant compte de tous ces documents et en les coordonnant, on arrive à constater que, dans l'hémisphère boréal, il semble que toute la zone continentale s'exhausse et s'accroisse, y compris la mer Glaciale, tandis que deux plis concaves se prononcent de plus en plus; l'un allant de l'est à l'ouest, qui part du sud de la Baltique pour aboutir à l'Atlantique, l'autre qui n'est probablement que la continuation du précédent dévié vers le Nord, et qui abaisse les côtes orientales de l'Amérique aussi bien que les rives occidentales du Groënland.

Passons actuellement à l'hémisphère austral; là, ces sortes de phénomènes se produisent dans des proportions gigantesques. On a constaté un exhaussement général des côtes occidentales de l'Amérique du Sud, sur une étendue de plus de 4000 kilomètres, du Chili au Pérou. Le sol de Valparaiso s'est élevé de 1^m,80, en 200 ans, de 1614 à 1817; et de 3^m,20 dans l'espace de 20 ans, de 1817 à 1837; quelques-uns de ces mouvements d'exhaussement ont été brusques, mais il est certain que ce phénomène remonte à une époque fort ancienne. Des fragments de poterie trouvés par M. de Tessan dans un banc de galets roulés, à 43 mètres d'altitude, et recouverts de vase marine, montrent que le sol s'est élevé de cette hauteur depuis l'existence de l'homme.

Ce mouvement d'exhaussement s'étend à une certaine distance en mer, se prolonge au nord-ouest et semble circonscrire la mer du Sud, car il entraîne les îles Sandwich, fig. 186 (21).

A l'ouest de cette zone est la vaste mer du Sud avec ces nombreux archipels, les *îles Basses*, fig. 186 (20); les *îles de la Société* (19); *Gilbert*, *Marshall* (18); *Carolines* (17), etc., sorte de voie lactée d'îles, d'îlots et de récifs, qui s'étend diagonalement sur une longueur de plus de 13 000 kilomètres et une largeur moyenne de 2000.

Dans cette vaste étendue on a constaté la disparition de plusieurs îles, et la diminution de plusieurs autres. Depuis longtemps peut-être il y aurait à peine une seule île existante sans un phénomène particulier, le plus curieux de la nature actuelle, et que, malheureusement, je ne puis que vous indiquer en passant.

Ces îles, ou groupe d'îles, forment des espèces de couronnes plus ou moins circulaires, avec une lagune à l'intérieur et des échancrures en nombre variable. C'est ce que l'on nomme des *Atolls*.

Elles sont toutes dues à des récifs de polypiers qui vivent à fleurs d'eau, formant une ceinture extérieure, et dont les débris arrachés par les vagues, mêlés à du sable ou à des fragments de coquilles, et portés par le flot ou le vent à l'intérieur, constituent, en s'accumulant, la partie émergée de l'île.

Le polypier, nous l'avons dit, ne peut vivre qu'à fleur d'eau. Si l'île est stationnaire, il s'étendra latéralement et horizontalement; mais son extension sera bien vite limitée faute de base pour le soutenir.

Si l'île s'élève, cette extension latérale sera, au contraire, facile à continuer, et le polypier émergé et mort contribuera à l'accroissement de l'île.

Si l'île s'abaisse, le polypier croîtra en hauteur, de manière, si l'affaissement n'est pas plus rapide que le développement du polypier, que la distance à la surface soit constante; et le récif prendra au-dessus du fond de la mer une hauteur verticale d'autant plus grande que la durée de l'affaissement aura été plus considérable.

Si l'affaissement est trop rapide, le polypier ne pouvant le compenser par son accroissement, l'île disparaîtra complétement.

Digitized by Google

Rien de plus facile donc que de constater s'il y a eu exhaussement ou affaissement.

Un éminent observateur anglais, M. Darwin, auquel nous empruntons tout ce que nous disons sur cette matière, nous a appris que toute la région que nous venons de circonscrire s'affaissait, que cet affaissement durait depuis des temps incroyables; car l'accroissement en hauteur des polypiers n'est guère évalué à plus de 3 millimètres par an, et certains récifs, comme ceux des îles Fidji, ont jusqu'à 900 mètres de hauteur, ceux des îles Gambier ont 360, ceux de Taïti, 76 seulement; cela ferait 300 000 ans pour les îles Fidgi.

Et remarquez bien qu'il n'est guère possible de diminuer ce chiffre monstrueux; que ce sont les mêmes espèces de polypiers qui constituent le récif de la base au sommet; qu'il faut par conséquent prendre cette durée dans la période quaternaire et la période actuelle, car les polypiers des périodes anciennes, même pour la période tertiaire, appartiennent à des espèces différentes, et que d'ailleurs aucun phénomène semblable n'a jamais été constaté dans les périodes anciennes. Quand les géologues, en extase devant quelques bancs de polypiers de quelques mètres de haut à peine, parlent des récifs de l'*étage corallien*, il faut bien se garder de donner à une pareille assimilation la valeur d'une véritable comparaison. Il n'y a là absolument rien de comparable.

On pourrait appeler la période actuelle, *période des récifs de coraux*, comme M. Élie de Beaumont a si justement proposé de l'appeler aussi, *période des dunes et des deltas*.

Vous savez que le bassin de la mer du Sud est entouré à l'ouest d'un demi-cercle d'îles volcaniques : la Nouvelle-Zélande (fig. 186, 16); l'île Kermadec, 15; l'île des Amis, 14; les Nouvelles-Hébrides, 13; les îles Salomon, 12; la Nouvelle-Guinée, 11; que cette ligne volcanique se bifurque, d'une part pour remonter au nord par les Philippines, 8; Formose, 9; le Japon, 10; le Kamtschatka; d'autre part, pour se diriger à l'ouest par Timor, 7; Java, 5; Sumatra, 4.

De nombreux récifs de polypiers sont répandus sur cette immense zone, et partout on peut constater un soulèvement continu.

Mais la Nouvelle-Calédonie, l'Australie et le bassin de l'océan Indien, comprenant les Atolls des Chagos, fig. 4, 3, et des Maldives, 2, s'affaissent.

Puis en approchant de la côte orientale d'Afrique, l'exhaussement se manifeste de nouveau dans les bancs de coraux de l'île Maurice, de la Réunion, de Madagascar (fig. 186, 1), des Seychelles, de la mer Rouge, etc., et nous rejoignons ainsi la zone continentale d'exhaussement, dont nous parlions tout à l'heure.

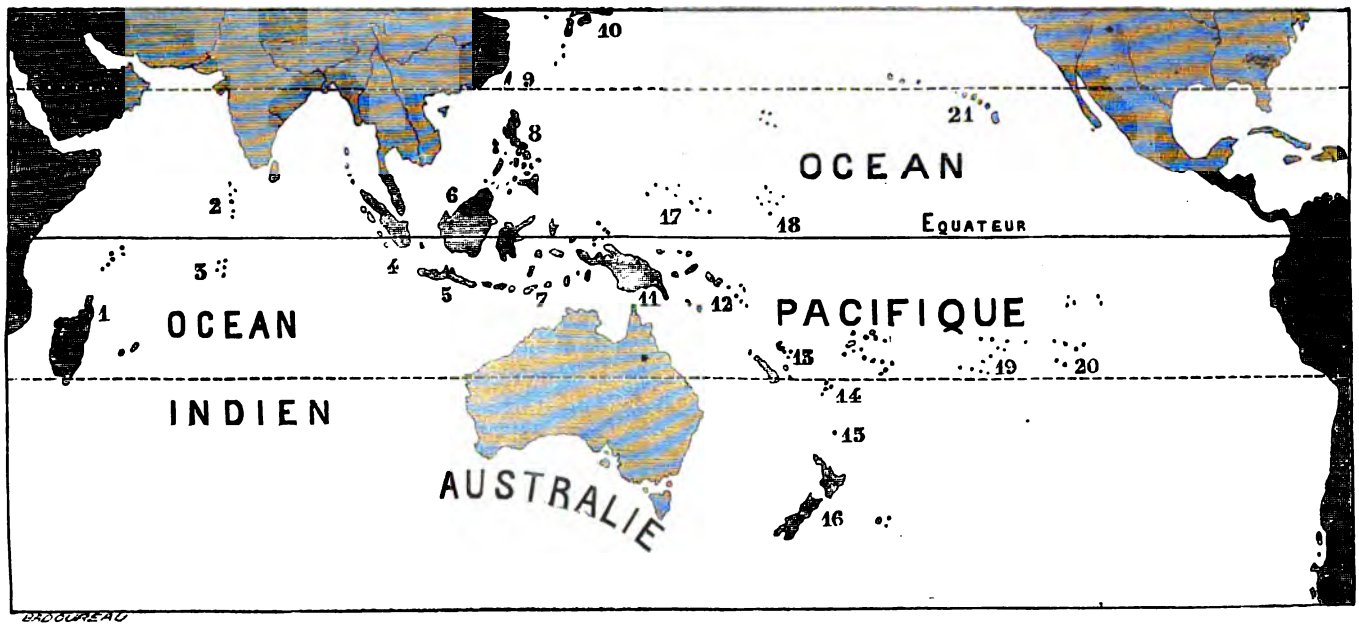


FIG. 186. — 1. Madagascar. — 2. Iles Maldives. — 3. Iles Chagos. — 4. Sumatra. — 5. Java. — 6. Borneo. — 7. Timor. — 8. Iles Philippines. — 9. Formose. — 10. Japon. — 11. Nouvelle-Guinée. — 12. Ile Salomon. — 13. Nouvelles Hébrides. — 14. Ile des Amis. — 15. Ile Kermadec. — 16. Nouvelle-Zélande. — 17. Iles Carolines. — 18. Iles Marshall. — 19. Iles de la Société. — 20. Iles Basses. — 21. Iles Sandwich.

Ainsi, messieurs, malgré son apparente immobilité, toute la surface de la terre est soumise à des balancements continuels et qui sont aujourd'hui tellement coordonnés, que ce sont en général les grandes zones continentales qui s'élèvent, et les grands bassins des océans qui s'affaissent.

Ce n'est pas autre chose que la continuation du mécanisme qui a présidé à la formation des continents et des mers. Le relief du globe est tout simplement dû à une série de plissements qui se sont exécutés pendant des temps d'une durée incalculable.

Nous avons eu un exemple de cette immensité de temps dans le phénomène des récifs de polypiers, vous arriveriez au même résultat en partant de l'exhaussement de la Scandinavie et des Iles-Britanniques. En admettant $0^m,75$ d'élévation par siècle, cela ferait, pour le double mouvement d'affaissement et d'exhaussement de 200 mètres d'amplitude chacun, une durée de plus de 50 000 ans. Pour les Iles-Britanniques dont l'affaissement a d'abord été de plus de 700 mètres, et qui ont subi ensuite un exhaussement égal, ce serait un minimum de temps de 200 000 ans, en admettant la même moyenne de $0^m,75$ par siècle, et si nous ajoutons la durée de la période des grands glaciers qui ont précédé l'affaissement du nord de l'Europe,

Digitized by Google

et les nombreux phénomènes dans le détail desquels il serait trop long et hors de propos d'entrer, nous arrivons, pour la durée totale des oscillations constatées dans les deux hémisphères, à quelque chose qui certainement ne peut être au-dessous du chiffre de 300 000 années.

De pareils résultats sont sans doute hors de toute proportion avec nos idées habituelles. Il faut bien cependant les accepter ; car je ne vous ai parlé que des phénomènes les plus récents de l'histoire de notre globe, phénomènes qui n'ont modifié que la superficie du sol, et qui sont tous postérieurs à la formation des grandes masses minérales stratifiées ou éruptives. Que serait-ce s'il fallait calculer le temps nécessaire à cette formation, pendant laquelle l'organisation générale des êtres a successivement changée un si grand nombre de fois? Ce ne serait plus par milliers, mais par millions de siècles qu'il faudrait calculer.

A quelque point de vue que vous vous placiez, il en sera toujours de même. Le globe terrestre a été, cela est aujourd'hui la vérité la mieux démontrée, une masse entièrement fluide. C'est par le refroidissement qu'il s'est entouré d'une écorce solide dont la température est connue. Demandez au calcul le temps nécessaire à ce refroidissement, au passage de l'état primitif à l'état actuel. Les géomètres ont à leur disposition tous les éléments qui peuvent conduire à la solution de cette question ; ils vous répondront 98 millions d'années.

Rappelez-vous les chiffres fabuleux qui expriment les distances de la terre au soleil, du soleil aux étoiles. La lumière parcourt 77 000 lieues par seconde, cependant elle met trois ans à venir jusqu'à nous des étoiles les plus rapprochées de la terre, et 2000 ans de celles qui forment le bord extérieur de la voie lactée. Rappelez-vous que les chiffres donnés par l'astronomie sont tellement certains, que non-seulement on calcule avec la plus rigoureuse exactitude le mouvement des planètes, mais qu'on peut prédire à jour fixe le retour de comètes qui restent invisibles pendant un très-grand nombre d'années. Si donc vous êtes convaincus de l'immensité des distances, soyez-le aussi de l'immensité des temps. La géologie vous en fournit, pour la durée, des preuves aussi certaines que l'astronomie pour l'espace.

Sachons reconnaître que nos mesures, adaptées à notre taille, à la durée de notre existence, empruntées aux dimensions et au mouvement de ce point de l'univers que nous habitons, que ces mesures, dis-je, et pour l'espace et pour le temps, sont hors de proportion avec les dimensions et la durée des œuvres du Créateur.

ED. HÉBERT.
Professeur à la Faculté des sciences de Paris.

MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE.

ZOOLOGIE
(Annélides, Mollusques, Zoophytes).

COURS DE M. LACAZE-DUTHIERS (1).

VII.

Histoire générale des Échinodermes.

Dans notre dernière leçon, nous avons cherché à déterminer la place qu'il convient d'assigner aux Échinodermes dans la classification, et nous avons vu que les auteurs sont loin de s'entendre à ce sujet. Aujourd'hui nous commencerons l'étude spéciale de ce groupe. Mon intention est de vous faire connaître, dans cette leçon, les principaux traits de l'histoire des *Animaux à peau épineuse*, caractère général à tous ces êtres, et que rappelle d'ailleurs l'étymologie grecque (ἐχῖνος, hérisson, δέρμα, peau).

Ce groupe est extrêmement naturel, et ses limites sont parfaitement fixées aujourd'hui. Cependant il est bon de connaître les faits se rapportant aux différentes opinions des grands zoologistes sur sa valeur et sur les divisions qu'il y faut établir.

Il est trois noms qui reviennent toujours quand on veut étudier les animaux inférieurs : ce sont ceux de Lamarck, de Cuvier et de Blainville. Voyons donc successivement comment ces illustres naturalistes ont compris la classe des Échinodermes, et comment ils l'ont divisée. Montrer les erreurs qu'ils ont pu commettre, établir une comparaison entre les opinons qu'ils ont professées, en chercher la raison, c'est certainement faire une étude des plus utiles, complément indispensable des développements qui suivront.

Examinons d'abord la classification de de Lamarck. On verra qu'il fait des Échinodermes un deuxième ordre parmi les animaux Radiaires.

Classification des Radiaires (LAMARCK).

- **Radiaires se divisent en :**
  - 1er ordre MOLLASSES
    - 1re section : ANOMALES.
      - Bouche unique et centrale.
        - Bouches en nombre indéterminé. . . . . *Stéphanomie.*
        - Corps mou, sans vessie.
          - *Ceste.*
          - *Béroé.*
          - *Lucernaire.*
        - Corps avec vessie ou cartilage renfermant de l'air.
          - *Physalie.*
          - *Vélelle.*
          - *Porpite.*
    - 2e section : MÉDUSAIRES.
      - Bouche unique. . . . . *Équorée.*
      - Bouches multiples. . .
        - *Aurélie.*
        - *Cassiopée.*
  - 2e ordre ÉCHINODERMES
    - 1re section : STELLÉRIDES, Peau non irritable, mais à pièce mobile.
      - *Comatule.*
      - *Ophiure.*
      - *Astérie.*
    - 2e section : ÉCHINIDES, Peau non irritable, mais immobile.
      - *Clypéastre.*
      - *Spatangue.*
      - *Oursin.*
    - 3e section : FISTULIDES, Peau mollasse, mobile, irritable.
      - *Actinie.*
      - *Holothurie.*
      - *Siponcle.*

(1) Voyez les numéros 16, 18, 19, 22, 23 et 28.

Digitized by Google

Une première observation qu'il importe de faire ressortir c'est que la classe des Radiaires, ainsi comprise, est fort hétérogène. Rapprocher les Méduses, les Oursins et les Actinies dans une même division est une idée qui ne pouvait être appliquée que par un naturaliste peu familier avec l'étude de ces animaux vivants. De Lamarck, en effet, n'avait jamais observé ces êtres que dans les collections, et ainsi il pouvait bien arriver à des rapprochements ingénieux, mais non à des données positives. Toutefois, remarquons qu'il place la Lucernaire parmi les Radiaires mollasses anomales, non loin des Méduses proprement dites; or, cette Lucernaire, considérée longtemps encore après de Lamarck comme une Actinie, et rangée par conséquent parmi les polypes, est devenue, de nos jours, une Médusaire, par suite de l'étude plus attentive de la disposition de ses organes de reproduction.

Mais à côté de ce rapprochement juste, on trouve une erreur considérable dans la position qu'il assigne aux Actinies, à côté des Holothuries et des Siponcles. Une pareille réunion d'animaux d'organisation aussi dissemblable n'a aucune raison d'être; l'apparence extérieure, la présence dans quelques espèces de deux orifices pour le tube digestif, ont seules pu faire placer ces polypes parmi les Échinodermes dont ils s'éloignent à tant de points de vue.

Mais si nous trouvons dans l'ordre des Échinodermes de de Lamarck des animaux qui n'y devraient point être, nous constatons en même temps l'absence d'autres êtres qui y ont une place des plus naturelles : je veux parler des Encrines et de tous les nombreux genres qui s'y rattachent. Or, nous retrouvons ces Échinodermes dans le dernier ordre de la classe des Polypes, parmi les *Polypes flottants*, groupe dans lequel sont réunis les Vérételles, les Pennatules, les Rénilles, les Virgulaires, les *Encrines*, et les Ombellulaires.

Cette observation, messieurs, n'est pas une critique à l'adresse de l'illustre auteur des *Animaux sans vertèbres;* je veux seulement vous montrer par cet exemple que lorsqu'une partie du règne animal qui doit être étudiée sur des individus vivants devient le sujet des recherches d'un zoologiste, si observateur qu'il soit, limitant son travail à l'examen des objets de collections, l'erreur est presque forcément le résultat de cette imperfection dans les moyens d'investigation. De Lamarck avait trouvé une certaine ressemblance entre une Encrine et une Pennatule, et il en avait conclu que les bras de l'une, comme les bras de l'autre, sont couverts de polypes; et c'est d'après cette seule raison d'analogie qu'il avait réuni ces deux êtres si différents à tous égards dans le même ordre des Polypes flottants. Il est à peine nécessaire d'ajouter qu'aujourd'hui c'est parmi les Échinodermes proprement dits que l'on place ce groupe si important en paléontologie.

Les idées de Cuvier sur les divisions à établir dans la classe des Échinodermes et sur la valeur de ce groupe, sont aussi attaquables à plusieurs points de vue. Il place ces animaux en tête de son embranchement des Zoophytes, et leur donne pour caractère distinctif la présence d'un appareil de la circulation qu'on ne peut plus distinguer, au moins d'une façon aussi nette dans les autres groupes des Zoophytes. C'est cette idée de l'appareil circulatoire distinct jointe aux caractères extérieurs de la peau, qui l'a conduit à faire entrer dans ce groupe des Échinodermes des êtres qui n'en peuvent plus faire partie aujourd'hui.

Classification des Échinodermes (CUVIER).

- **Échinodermes.**
  - PÉDICELLÉS.
    - Corps divisé en rayons.
      - Base libre. . . . . *Astérie.*
      - Base adhérente . . *Encrines.*
    - Corps non divisé.
      - Couvert d'épines articulées. — *Oursins.*
      - Couvert de tubercules non articulés. — *Holothuries.*
  - APODES. . . . . .
    - *Molpodies.*
    - *Minyades.*
    - *Priapules.*
    - *Lithodermes.*
    - *Siponcles.*
    - *Bonellies.*
    - *Thalassèmes.*

Cuvier avait observé les Échinodermes vivants, et les avait vus, dans la plupart des cas, couverts de petits prolongements terminés en ventouses, et qui servent, comme de véritables pieds, à faire progresser l'animal. Dans un certain nombre d'animaux qu'il considérait comme devant rentrer dans cette classe, ces pieds manquaient. De là sa grande division des Échinodermes en *Apodes* et *Pédicellés*. Mais des observations plus attentives ont enlevé de cette classe la division des Apodes. Tous les genres indiqués par le tableau, excepté le genre Minyas, sont considérés aujourd'hui comme faisant partie d'une division nouvelle, plus voisine des Vers que des Échinodermes, celle des *Géphyriens*, groupe naturel établi par M. de Quatrefages, et adopté aujourd'hui à peu près par tous les zoologistes.

Quant au genre Minyas, il est maintenant démontré qu'il doit rentrer parmi les Actinies. Lesueur, le premier, reconnut la véritable nature des animaux de ce genre, qu'il désigna sous le nom d'*Actinecte:* le Minyas est en effet une Actinie qui nage. Ces premières observations furent confirmées par les recherches de de Blainville, desquelles il résulta la connaissance d'un fait des plus curieux.

Vous vous rappelez l'organisation générale de l'Actinie, que l'on peut considérer comme le type des Polypes. On trouve au sommet du cylindre que forme le corps de l'animal une couronne de tentacules ou de bras qui entoure la bouche; à la partie inférieure, la base du corps est large et s'étale quelquefois, pour servir à l'animal de moyen de locomotion ou de fixité. Supposez que ce pied s'excave, comme cela se voit, du reste, quand une Actinie est fixée sur une saillie ou un corps sphéroïdal; supposez plus encore, que les bords de cette excavation se recourbent en dedans et tendent à se réunir jusqu'à former un pertuis étroit par lequel cette cavité nouvelle communique avec l'extérieur, et vous aurez la raison de l'erreur qu'a commise Cuvier lorsqu'il considéra ce pertuis, établi de cette façon dans le genre Minyas, comme étant un orifice postérieur du tube digestif; et c'est d'après la présence de deux orifices, l'un supérieur, l'autre inférieur qu'il crut devoir faire rentrer ces animaux parmi les Échinodermes. En réalité, cet orifice, comme l'ont observé Lesueur, puis de Blainville, n'appartient pas à l'appareil digestif, mais fait communiquer avec l'extérieur une cavité creusée en ampoule à la base de l'animal; la Minyas, en flottant renversée à la surface de l'eau, y enferme une bulle d'air qui lui sert à se soutenir et à nager librement. Ainsi est justifié et expliqué le nom nouveau d'*Actinecte*, donné au genre par Lesueur.

En résumé, les Échinodermes Apodes de Cuvier doivent

Digitized by Google

disparaître entièrement. Les divisions qu'il a établies dans son ordre des Pédicellés sont très-naturelles et demeurent inattaquées jusqu'aujourd'hui.

De Blainville place aussi les Échinodermes parmi les Zoophytes, mais il leur assigne une position particulière dans des divisions spéciales.[1]

Classification des Zoophytes (DE BLAINVILLE).

- ZOOPHYTES.
  - Faux (animaux rapportés à tort aux Zoophytes).
    - Physogastres.
    - Béroés ou Ciliobranches.
    - Diphyes.
    - Entozoaires.
    - Microzoaires ou Infusoires ou microscopiques.
      - Entomostracés.
      - Ascaridiens.
      - Planariés.
      - Gemmariés.
  - Vrais.
    - Type I. ACTINOZOAIRES.
      - Classe I. CIRRHODERMAIRES.
        - Holothurides.
        - Échinides. . . .
          - Non maxillés.
          - Maxillés.
        - Stellérides.. . .
          - Astérides.
          - Ophiurides.
          - Encriniens.
      - Classe II. ARACHNODERMAIRES. . . . . .
        - Cardiogrades. (Méduses).
        - Condrogrades. (Vélelles).
      - Classe III. ZOANTHAIRES.
        - Mous . . . . . Actinie.
        - Coriaces. . . . Zoanthes.
        - Calcaires. . . .
          - Madréphyllies.
          - Madrépores.
      - Classe IV. POLYPIAIRES.
        - Sous-classe I. Polyp. calcaires.
          - Milléporés.
          - Tubuliporés.
        - Sous-classe II. Polyp. membraneux.
          - Escharies.
          - Cellariés.
          - Sertulariés.
        - Sous-classe III. Polypes douteux.
        - Sous-classe IV. Pol. nus (Hydres).
      - Classe V. ZOOPHYTAIRES ou CTÉNOCÈRES.
        - 1. Tubipores.
        - 2.
          - Coralliaires.
          - Pennatulaires
          - Alcyonaires.
    - Type II. AMORPHOZOAIRES. . . . . Spongiaires ou Thétyaires.
  - Faux.
    - Végétaux. . . . . .
      - Corallines.
      - Nématophytes.
      - Psychodiaires.
    - Ni végétaux, ni animaux. . . . . .
      - Zoospermes.
      - Nullipores.

Nous trouvons ici bien des mots nouveaux; mais c'était l'habitude de de Blainville de changer les dénominations reçues; il lui arrivait même quelquefois de remplacer dans le courant d'une leçon, par des synonymies tirées du grec, des noms qu'il avait fait inscrire quelques moments auparavant.

Il y a dans ce tableau des mélanges inadmissibles : c'est ainsi qu'il sépare des Méduses les Béroés qu'il considère comme des *Zoophytes faux* et qu'il réunit sous cette dénomination commune aux Entozoaires et aux Microzoaires.

Il dit de ces derniers : « Nous regardons les Infusoires ou » Microscopiques comme des animaux de types et de familles » très-différentes, les uns étant de véritables *Entomostracés*, » les autres des *Ascaridiens*, ceux-ci des *Planariés*, et enfin » ceux-là peut-être des *gemmes d'animaux Zoophytaires*, et se » mouvant rapidement en cercle, comme quelques cyclides, etc.» Nous retrouvons donc ici l'opinion qu'Agassiz soutient aujourd'hui, à savoir que les Infusoires seraient des types dégradés appartenant à des classes différentes. Les divisions que nous montre ce tableau ne sont donc pas des distinctions naturelles qu'il veut établir parmi les Microzoaires, mais bien la désignation de certains groupes auxquels on pourrait peut-être rapporter les types divers dont on avait jusqu'à lui fait une classe distincte.

De Blainville appelle *Cirrhodermaires* les Échinodermes : ce nom nouveau n'est pas resté dans la science. Il admet trois divisions dans cette classe : les Holothuries, les Échinides et les Stellérides.

Les Échinodermes forment en résumé un groupe très-naturel, dont il faut retirer les êtres que Cuvier y avait réunis dans sa division des Apodes, et qui aujourd'hui, par suite d'études sur les individus vivants et d'observations plus précises, appartiennent à d'autres classes, ou en ont formé de nouvelles. Cette élimination faite, le groupe reste naturel, en même temps qu'il réunit certains types bien distincts : les Oursins, les Étoiles de mer, les Holothuries, représentent les trois formes animales que rassemble la dénomination commune d'Échinodermes. Prenons donc aujourd'hui une idée générale de l'organisation de ces êtres; nous aborderons ensuite l'étude spéciale de chaque division naturelle du groupe.

Quelle idée devons-nous nous faire d'un Échinoderme?

Pour bien connaître un animal, il faut savoir comment il se nourrit, comment il se met en relation avec le monde extérieur, comment enfin il se reproduit. Nous allons donc examiner successivement les organes chargés de remplir ces diverses fonctions dans l'Échinoderme, d'une manière générale et sans nous arrêter aux détails, car nous reviendrons d'une façon plus étendue sur les modifications de ces parties de l'animal, quand nous étudierons séparément les différents groupes de cette classe.

Et d'abord, comment se nourrit un Échinoderme? — Prenons parmi les Échinodermes celui qui l'est le plus, l'Oursin, et notre description portera sur l'*Echinus lividus* ou l'*Echinus esculentus*, les deux espèces les plus communes sur les côtes de la Manche.

Où est la bouche dans cet animal? — Si vous considérez un Oursin, il vous paraîtra toujours plus sphérique d'un côté que de l'autre; placez-le sur la partie de son corps qui sera le plus aplatie, et vous le ferez ainsi reposer sur sa face inférieure ou buccale. C'est là, en effet, que se trouve la bouche. On la voit au centre de cette surface que l'animal vivant applique d'ordinaire sur le sol; dans une dépression centrale se montre une partie pointue, et si l'on fend la membrane cutanée qui la recouvre en partie, on aperçoit un appareil destiné à triturer, à broyer les aliments, formé de dents ou de languettes calcaires multiples. C'est la première fois que nous rencontrons dans les animaux inférieurs un appareil masticateur. Connu depuis longtemps, on le désigne sous le nom de *lanterne d'Aristote*, en raison de sa forme qui rappelle jusqu'à un certain point l'apparence d'une lanterne; nous reviendrons, lorsque nous étudierons spécialement les Échinides, sur la composition de cet appareil qui est formé de pièces multiples agencées entre elles d'une façon assez compliquée.

Au sommet de la face convexe de l'Oursin, au pôle opposé à la bouche, se trouve un autre orifice, c'est l'anus.

Si l'on casse le test de l'animal, on voit, faisant suite à l'appareil masticateur, un tube digestif que l'on a divisé en pharynx, œsophage et intestin. Ce tube se replie dans la cavité de l'Oursin, se déroule et se contourne dans des rapports déterminés, que nous examinerons plus tard, et aboutit finalement à l'anus.

Il n'y a pas dans les Échinides d'organes glandulaires accessoires. La circulation est peu distincte; mais on observe cependant dans l'Oursin quelques organes propres à cette fonction, et c'est ce caractère que Cuvier donne comme caractéristique des Échinodermes dans son embranchement des Zoophytes. Un gros vaisseau central situé le long du tube digestif dans

Digitized by Google

sa portion pharyngienne est considéré comme l'analogue d'un cœur rudimentaire. De l'extrémité inférieure de ce cœur partent cinq vaisseaux qui suivent les séries ambulacraires et aboutissent finalement à des organes que nous connaîtrons plus tard. Mais, en réalité, on est encore peu renseigné sur toutes les particularités relatives à la circulation dans ces animaux.

De la même façon, il y a beaucoup d'incertitude relativement aux organes de la respiration. Pendant la vie, le corps des Échinides est couvert de petits prolongements membraneux, distincts des piquants, terminés en ventouses et qu'on nomme *ambulacres* (fig. 187), en raison de leur rôle apparent. On a dit que ces sortes de tentacules étaient des éléments propres à l'appareil respiratoire, et ils doivent en effet jouer un rôle dans cette fonction, puisque chez les animaux inférieurs toutes les parties de l'organisme concourent à l'endosmose gazeuse ; mais il n'est pas parfaitement démontré qu'ils soient disposés spécialement pour cette fonction.

Enfin il existe autour de la bouche dans les Oursins, — et les tentacules des Holothuries peuvent leur être assimilés, — des appendices foliacés, au nombre de dix dans l'*Echinus lividus*, par exemple; ces appendices, par leur ressemblance avec des branchies, ont été considérés comme des organes propres de la respiration : on les désigne même sous le nom de *branchies externes*, par opposition à d'autres éléments que nous connaîtrons en étudiant particulièrement les Echinides.

La nutrition dans son ensemble et d'une manière générale est donc plus complète ici que dans les autres animaux zoophytes. La fonction digestive est remplie par des organes spéciaux ; il y a un commencement de circulation, une apparence d'organes respiratoires distincts : tout cela constitue un perfectionnement et place les Échinodermes avant les autres classes de l'embranchement.

Comment se reproduisent ces animaux? — Les glandes génitales mâles et les glandes femelles sont portées par des individus différents. Ces deux espèces de glandes se ressemblent et l'examen microscopique seul permet de distinguer l'une de l'autre. Elles sont au nombre de cinq, placées contre la paroi supérieure du test, et s'ouvrent au dehors chacune par un orifice ou pore spécial, percé au centre de cinq plaques disposées autour de l'anus et nommées *plaques génitales*. La ponte est considérable : aussi la multiplication de ces animaux est-elle vraiment prodigieuse. Le mâle lance le liquide séminal, et la fécondation est abandonnée au hasard.

Les organes de la locomotion sont multiples. Il y a d'abord les *ambulacres :* ce sont des tubes membraneux terminés en ventouses, capables de s'ériger et de se fixer. Ces parties molles sont ordinairement plus longues que les piquants qui hérissent l'Oursin. Elles sont disposées en séries, désignées sous le nom de *séries ambulacraires;* la disposition de ces séries sert beaucoup dans la spécification. C'est surtout au moyen de ces ambulacres que l'animal se fixe, qu'il se meut et peut monter contre les parois d'un vase.

Les *baguettes* ou *piquants* sont des prolongements ou des pointes calcaires, qui couvrent la surface du test de l'Oursin, et peuvent servir à sa locomotion. Les *Cidaris* en présentent de très-longs et très-volumineux, dont ils font surtout usage pour se mouvoir hors de l'eau, à peu près comme un batelier se sert d'une perche pour faire avancer sa barque en prenant un point d'appui résistant au fond de la rivière ou sur ses bords. Ces baguettes, concaves à leur base, sont articulées sur une tête ou *tubercule* saillant sur la surface du test : des muscles cutanés insérés aux parties mobiles les agitent en tous sens.

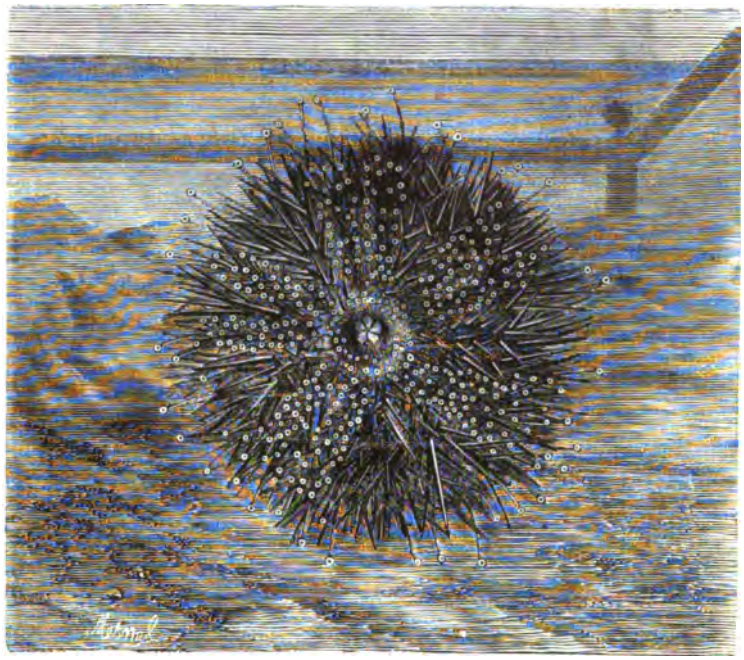


Fig. 187. — Oursin grimpant sur les parois d'un aquarium (d'après le *Monde de la mer* d'Alfr. Fredol). Cette figure montre la bouche et les dents saillant au centre ainsi que les ambulacres qui fixent l'animal aux parois.

Un système nerveux central a été trouvé autour de la bouche. Il a la forme d'un collier pentagonal; les ganglions qui doivent exister à chacun des angles de ce pentagone sont peu distincts. L'appareil sensorial est peu développé. Cependant on trouve à l'extrémité des bras des Astéries de petits points rouges considérés comme des yeux.

Les organes tactiles sont certainement les ambulacres.

On a fort souvent changé les divisions de la classe des Échinodermes. Mais quoi qu'il ait été fait ou proposé, toutes les classifications reviennent à reconnaître trois types distincts, trois groupes naturels parmi ces animaux.

Dans un premier groupe, le corps est mou, tubuleux, pré-

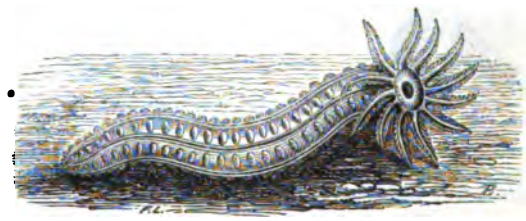


Fig. 188. — Holothurie (d'après le *Monde de la mer* d'Alfr. Fredol).

sentant deux orifices au tube digestif, l'un antérieur, l'autre sur un plan postérieur : ce sont les caractères généraux propres aux Holothuries. Une couronne tentaculaire fort élégante

Digitized by Google

entoure la bouche. Leur corps est simplement coriace, très-contractile.

Si la masse organique est protégée par un test globuleux ou discoïde, nous aurons le groupe des Échinides ou des Oursins, si important au point de vue paléontologique. Ce groupe renferme un nombre immense d'espèces, et les quelques échantillons que vous pouvez voir vous indiquent les différences nombreuses qui séparent les familles de cet ordre, en même temps qu'ils vous permettent d'observer un trait général de leur histoire, leur construction symétrique suivant un axe central ou bisymétrique suivant un plan. Ils sont sphéroïdaux ou aplatis; il en est même qui, par leurs découpures, semblent faire le passage aux Astéries. Ce coup d'œil jeté sur ces Echinus, ces Cidaris, ces Scutelles, ces Clypéastres et ces Spatangues, suffit pour vous faire pressentir l'étendue considérable du groupe et la valeur de ses divisions naturelles.

Fig. 189. — Oursin comestible (*Echinus esculentus*, Linné), d'après la *Vie et les mœurs des animaux*, par L. Figuier.

Le troisième ordre de la classe des Echinodermes est l'ordre des Stellérides. Il a pour caractère spécial de présenter des prolongements en rayons libres. On trouve ici dans l'épaisseur de la peau des pièces calcaires dans des rapports médiats, peu intimement articulées les unes aux autres; l'enveloppe cutanée est coriace. Les organes de la digestion présentent des appendices glanduleux qui se prolongent dans les bras.

On a subdivisé cet ordre en trois groupes secondaires.

Tantôt on ne peut distinguer les bras de la masse du corps, ces prolongements se réunissant en angles, et offrant une grande largeur à leur point de contact : c'est le caractère distinctif des *Astérides*.

Les *Ophiurides*, au contraire, présentent cinq bras comme les *Astéries*; mais outre que ces bras ne restent pas toujours simples et se ramifient, ainsi que cela s'observe dans les Euryales par exemple, ce groupe a pour caractère spécial de permettre à l'observateur de distinguer facilement le corps des prolongements. Ceux-ci sont grêles, ne se réunissent plus à angle à leur base, et l'on peut ainsi différencier la masse du corps d'avec les bras, qui ne sont plus, pour ainsi dire, que des sortes de prolongements tentaculaires, servant spécialement à la locomotion.

Supposons enfin que les bras se rapprochent de la surface buccale, et que la partie supérieure ou anale devienne inférieure par la position de l'animal et soit supportée par un pédicule fixé ou des prolongements multiples libres, et nous arriverons au troisième groupe des Stellérides, à l'importante famille des *Crinoïdes*.

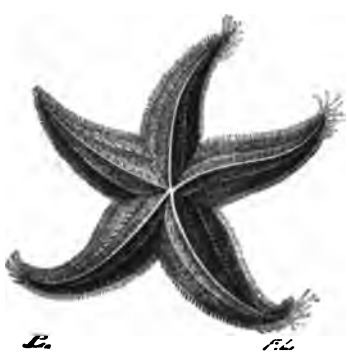


Fig. 190. — Astérie violette (*U. violaceus*, M.), d'après le *Monde de la mer* d'Alfr. Fredol.

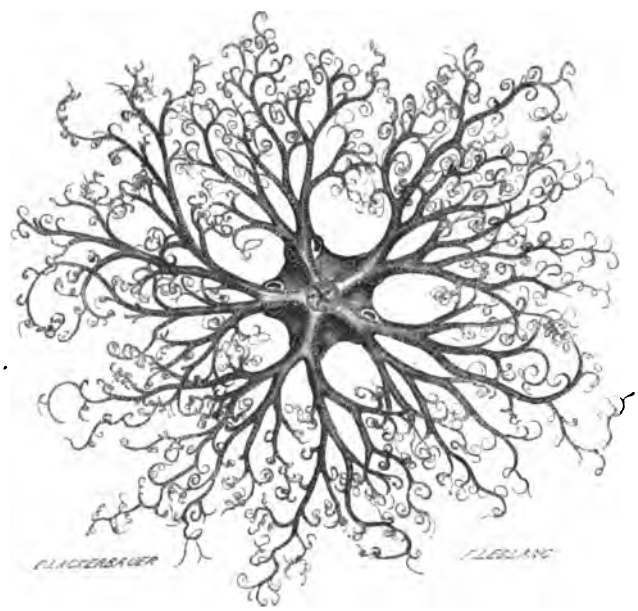


Fig. 191. — *Astrophyton verrucosum* (d'après le *Monde de la mer* d'Alfr. Fredol).

Fig. 192. — Pentacrine d'Europe (d'après le *Monde de la mer* d'Alfr. Fredol).

Digitized by Google

Ce simple exposé des caractères généraux de cette famille, permet déjà d'y établir deux divisions : dans une première, celle des *Encrinites*, la partie dorsale de l'animal devenue inférieure se prolongera en une tige qui retiendra le plus souvent l'animal fixé. C'est dans cette subdivision que se rangent les nombreuses espèces d'Encrines fossiles. — Dans une deuxième division, celle des *Comatules*, l'animal se présente tantôt relevant ses longs bras et les reployant en dedans, tantôt les laissant retomber en dehors et les étalant; de plus petits prolongements portent le disque qui renferme les organes et constituent l'appareil de la locomotion. Supposons ces bras inférieurs de la Comatule réunis et réduits à une tige, et nous reproduirons le caractère spécial des Encrines. Donc les Comatules sont des Crinoïdes libres, les Encrines, au contraire, sont fixées dans la plupart des cas.

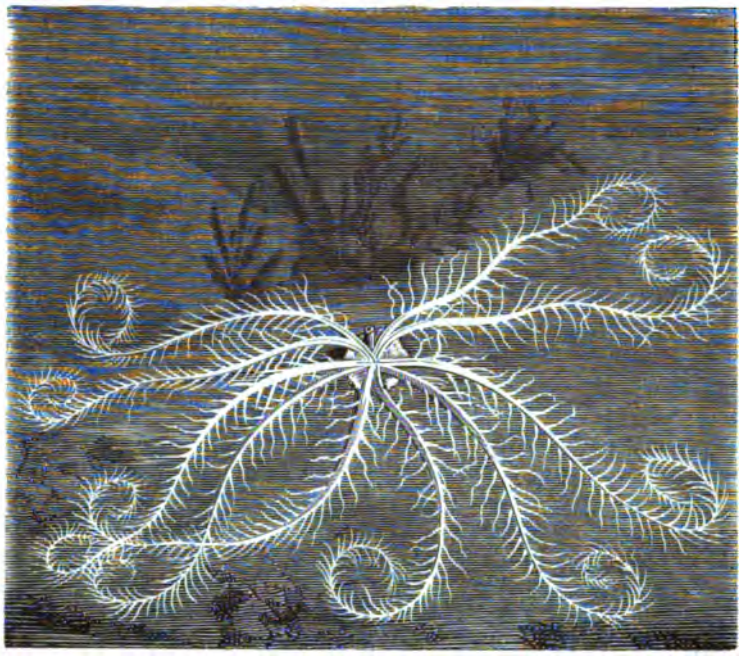


Fig. 193. — Comatule de la Méditerranée (*Comatula mediterranea*, Lamarck), d'après la *Vie et les mœurs des animaux*, par L. Figuier.

Ainsi, pour nous résumer, les Stellérides se divisent en Astérides, Ophiurides et Crinoïdes; mais ces trois groupes sont plus secondaires que les Holothurides et les Échinides qui correspondent à l'ensemble des Stellérides. Voici, du reste, sous forme de tableau, l'exposé de ces divisions établies dans la classe des Échinodermes :

Grandes divisions des Échinodermes.

- Corps
  - mou tubuleux. . . HOLOTHURIDES.
  - dur, sphéroïdal ou discoïde. — ÉCHINIDES.
  - dur étoilé : STELLÉRIDES.
    - Libres. Bras et corps
      - non distincts. . . *Astérides.*
      - distincts. . . . . *Ophiurides.*
    - Fixés. . . . . *Crinoïdes.*

Le groupe des Echinodermes est donc parfaitement naturel, et malgré la diversité des formes, on peut trouver un plan général d'organisation qui réunit tous ces êtres.

Chacune des divisions de cette classe peut se caractériser par l'orientation de l'animal, c'est-à-dire par la position différente des deux orifices du tube digestif.

L'Holothurie a une direction horizontale, son axe est antéro-postérieur; elle présente un orifice en avant, un autre en arrière; mais on pourrait, en plaçant l'animal dans la position normale, la bouche en haut, le rapprocher ainsi d'autres types, d'Échinodermes. L'Oursin est vertical, mais il est renversé, c'est-à-dire qu'il marche la bouche en bas et l'anus en haut.

Le Spatangue présente la bouche à sa face inférieure, déjetée sur un des côtés; cet orifice buccal a une direction oblique vers l'anus qui est situé sur le bord du test. L'animal s'allonge et montre une tendance à la bisymétrie. L'intestin a une direction générale horizontale, ou plutôt décrit un demi-cercle. L'Astérie offre une disposition analogue à celle de l'Oursin, l'axe du tube digestif est vertical.

Enfin la Comatule et l'Encrine reproduisent la disposition que l'on pourrait donner à l'Holothurie en la redressant. La bouche ici est en haut, l'anus est en bas; la direction est encore verticale, mais elle est renversée par rapport à l'Oursin.

Ces caractères que fournit l'orientation des Échinodermes établissent déjà des différences appréciables entre les divers groupes nettement déterminés d'ailleurs à tous égards. Quelle que soit la manière de voir des auteurs, on revient forcément aux cinq divisions fondamentales indiquées par le tableau.

L. Hallez.

CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS.

CHIMIE AGRICOLE (1).

COURS DE M. BOUSSINGAULT

(de l'Institut).

De la substance musculaire.

On a fait des expériences pour connaître l'accroissement en poids des animaux soumis à un certain régime, et l'on a trouvé qu'un animal qui consomme 100 kilogr. de foin produit en moyenne 7 à 8 kilogr. de *poids-vivant*, expression qu'il ne faut pas confondre avec celle de poids de boucherie qui s'applique aux quatre quartiers de l'abatage. — On a abattu un bœuf très-gras âgé de quatre ans, et l'on a trouvé en poids :

	kilogr.
Les 4 quartiers	292,5
Suif	65,1
Peau	38,6
Sang, entrailles	74,4
Tête, langue	16,7
Pieds	7,8
Cœur, foie, poumons	9,3
	504,4

Il est utile de savoir, dans une exploitation agricole, ce que 100 kilogr. de poids vivant renferment de viande de bouche-

(1) Voy. les numéros 1, 2, 6, 8 11, 15, 21, 22, 23, 25 et 28.

Digitized by Google

rie. Les expériences des bouchers de Paris ont conduit aux résultats suivants :

Viande de boucherie, 4 quartiers pour 100 de poids vivant.

Bœuf très-gras	70
— mi-gras	56
Vache maigre	47
Veau gras	59

L'abatage d'un porc de 100 kil. a donné :

Chair	47,7
Lard	27,3
Sang	4,0
Peau	9,4
Issus	11,6
	100,0

100 kil. de viande de boucherie contenaient 25 pour 100 d'os.

On a comparé la chair musculaire des mammifères à la chair des poissons, et l'on a constaté qu'il n'y avait pas de différence chimique ni physique; les résultats sont curieux :

	CHAIR	
	de bœuf	de poisson (carpe)
Fibrine, tissu cellulaire, nerfs, vaisseaux	15,0	12,0
Albumine	4,3	5,2
Extrait alcoolique et sels	1,3	1,0
Extrait aqueux et sels	1,8	1,7
Phosphate de chaux	traces	traces
Graisse et perte	0,1	»
Matières solides	22,5	19,9
Eau	77,5	80,1
	100,0	100,0

Ainsi, la seule différence que l'on constate, c'est que la chair musculaire des poissons contient 3 pour 100 d'eau de plus que la chair des mammifères.— Étudions maintenant la composition physique de ce tissu musculaire. A l'œil nu, on aperçoit une série de faisceaux placés les uns à côté des autres et reliés entre eux par du tissu cellulaire. En les divisant, on obtient des fibres qui, vues au microscope, paraissent elles-mêmes composées d'autres éléments. Chacune d'elles est entourée d'une enveloppe cylindroïde amorphe, qui renferme dans son intérieur l'élément anatomique propre au tissu musculaire, et qui consiste en disques.

Ces disques représentent des fibrilles très-ténues, si elles sont disposées en long, et des rondelles superposées si elles sont disposées suivant la largeur. Entre elles se trouvent disséminées d'autres granulations que l'on nomme les corpuscules musculaires. Outre les fibres qui forment l'élément principal du muscle, on y rencontre aussi du tissu cellulaire, du tissu adipeux, des vaisseaux sanguins, des vaisseaux lymphatiques, des nerfs, plusieurs substances organiques, telles que la *créatine*, la *créatinine*, de l'*acide inosique*, de l'*inosite*, de la *sarkine*, des lactates, des phosphates, de l'acide lactique et des corps gras.

Maintenant que nous connaissons la composition de la chair musculaire, voyons ce qu'elle devient lorsqu'on la soumet à la cuisson, soit avec de l'eau ou soit seule; et expliquons pourquoi l'on ne peut pas avoir à la fois un bouillon très-nourrissant et une chair succulente. Nous pouvons prévoir ce qui arrive lorsque la viande est mise d'abord dans de l'eau froide dont on élève la température graduellement. Tant que l'eau est froide et jusqu'à ce qu'elle ait atteint la température de 50 à 60 degrés, elle dissout les sels, l'acide libre, les matières extractives et l'albumine. Vers 70 à 100 degrés, l'albumine dissoute, se coagule; elle forme les écumes qu'on enlève facilement; la graisse fond et surnage, et la vapeur, en se dégageant, entraîne le principe odorant. L'action de la chaleur continuant, la gélatine du tissu cellulaire et des tendons se dissout. C'est à cette substance que le bouillon suffisamment concentré doit de se prendre en gelée. La fibrine est devenue plus blanche, débarrassée qu'elle est de la matière colorante du sang. En continuant la cuisson de la viande pendant longtemps, la fibrine perd sa consistance, devient insipide et convient peu comme aliment. Ordinairement, la viande destinée à l'alimentation contient encore une partie des substances qu'une cuisson plus longue lui enlèverait. M. Liebig, à qui on doit la découverte de l'acide inosique dans la chair, a fait des expériences et établi que la chair hachée cède à l'eau froide la totalité de son albumine; que le résidu, très-riche en fibrine, donne, quand on le fait bouillir avec de l'eau, un bouillon tout à fait insipide, parce que les principes sapides et odorants de la chair à l'état de dissolution dans les muscles ont été enlevés par le lavage. L'odeur et la saveur de la viande rôtie sont dues à ces mêmes principes solubles légèrement modifiés par la chaleur. Cela est si vrai, qu'en arrosant avec un extrait aqueux et cuit de la chair fraîche devenue insipide par un lavage prolongé, on lui communique les propriétés culinaires du rôti.

On a remarqué qu'il y a une plus grande quantité d'albumine dans la chair des jeunes animaux que dans celle des vieux. Chaque fibre constitutive du faisceau musculaire est entourée et mouillée par un liquide albumineux; si l'on entraîne ce liquide par un lavage la fibre reste seule et elle est la même dans tous les animaux. Bouillie avec de l'eau elle durcit, se racornit, et il est évident que si la viande bouillie et la viande rôtie restent tendres après la cuisson, c'est que l'albumine coagulée l'entourant l'empêche de se durcir. Il faut néanmoins que la température ne soit pas tellement élevée que l'albumine durcisse à son tour et devienne coriace.

Il résulte de ce qui précède que pour obtenir la viande la plus succulente il faut la plonger dans de l'eau en pleine ébullition; laisser bouillir pendant quelques minutes, puis ajouter assez d'eau froide pour abaisser la température à 72 degrés, enfin entretenir cette température pendant quelques heures. Voici l'explication de cette pratique : aussitôt plongée dans l'eau bouillante l'albumine se coagule, protége les brins de fibrine, s'oppose au lavage, et est un obstacle à la propagation de la chaleur qui ne durcit pas la fibre. De plus cette enveloppe empêche les matières sapides et odorantes de s'échapper; dès lors, la fibre perdra moins de sa nature primitive et se trouvera à peu près dans les mêmes conditions que la viande rôtie. La viande n'ayant rien cédé au bouillon, celui-ci sera détestable. L'albumine se coagulant complétement à 57 degrés, on pourrait croire alors qu'il n'est pas nécessaire d'exposer la viande à la température de l'eau bouillante, mais il faut remarquer que l'hématosine, dite *matière colorante du sang*, ne se solidifie pas au-dessous de 70 degrés, et que, si l'on n'avait pas le soin de la coaguler, la viande conserverait un aspect saignant peu agréable. On a cru pendant longtemps que le fer était la matière colorante du sang; mais il est démontré aujourd'hui qu'on peut enlever complétement le fer à l'hématosine sans lui enlever sa couleur.

La viande, contenant 80 pour 100 d'eau, cuit encore dans l'eau alors même qu'on la fait rôtir. En coupant une tranche d'un gros morceau de viande rôtie, on distingue différentes zones déterminées par la température que chacune d'elles a

Digitized by Google

supportée. Les parties sanguinolentes n'ont pas été chauffées à 70 degrés ; autrement la matière colorante du sang aurait été coagulée. La chair des oiseaux et des poissons étant moins riche en sang que la viande des mammifères se cuit plus rapidement, il suffit de les chauffer entre 54 et 60 degrés. De tous les rôtis, le meilleur est celui que font les soldats en Amérique : ils font cuire un animal entier devant un feu très-ardent, la viande se rissole à l'extérieur, et chacun coupe la viande dont le degré de cuisson lui convient.

La préparation d'une viande succulente nous a donné un bouillon de médiocre qualité ; voyons comment on doit procéder pour obtenir un bouillon savoureux. Il faut dans ce cas favoriser la sortie des sucs sapides et non les retenir, les emprisonner dans la viande par la coagulation subite de l'albumine : à cet effet on met la viande dans de l'eau froide dont on élève graduellement la température jusqu'à l'ébullition. Les principes sapides et solubles se dissolvent; l'eau en pénétrant le tissu opère un véritable lavage; l'albumine, dissoute d'abord, se coagule ensuite ; elle est enlevée avec l'écumoire, mais cette élimination de l'albumine rend la viande dure et même coriace si l'ébullition est trop prolongée. La gélatine donne au bouillon concentré la propriété de se prendre en gelée, mais ce n'en est pas la partie nutritive ; elle y entre d'ailleurs en quantité très-petite; de 1000 grammes de chair de bœuf on n'extrait que 6 grammes de gélatine.

Tableau indiquant la préparation du bouillon de bonne qualité.

La viande mise d'abord dans l'eau froide :

	kilogr.
Viande	1,43
Os	0,43
Sel	0,04
Légumes, oignons brûlés	0.33
Eau	5,00
	7,23

Après cinq heures d'ébullition :

	kilogr.
Bouillon	4,00
Bouilli	0,86
Os	0,39
Légumes	0,34
	5,59

L'analyse d'un litre de ce bouillon, qui pesait 1 kilogramme 14 grammes, a donné les résultats suivants :

	gram.	
Matières extractives sèches	17	29
Chlorure de sodium et sels	11	
Phosphates de chaux et de magnésie	1	
Eau		985
		1014

Cependant ce bouillon dont la température élevée est longtemps soutenue, perd la plus grande partie du goût et du parfum que lui a cédé la viande; il perd encore une partie de ses facultés alimentaires. C'est en partant de ces considérations que M. Liebig a indiqué le moyen de se procurer en quelques minutes un bouillon fortifiant et aromatique. 500 grammes de bœuf maigre haché très-menu sont délayés dans 500 grammes d'eau (1/2 litre), et portés lentement à l'ébullition; après la séparation des écumes et l'addition de sel et autres accessoires, on a un bouillon d'une force supérieure à celui qu'on préparerait par une cuisson prolongée de la viande en morceau, toute proportion gardée.

Évaporé au bain-marie ce bouillon laisse un extrait brun foncé, d'une consistance molle, dont 15 grammes suffisent pour transformer en bouillon un demi-litre d'eau.

Un grand nombre de personnes croient que l'addition d'os à la viande donne un bouillon d'une qualité supérieure ; c'est une erreur.

Bouillon d'os, six heures d'ébullition :

Os concassé de bœuf	5
Légumes	0,9
Sel	0,07

Ce bouillon n'était que de la colle forte sans propriétés nutritives.

On sait que la pression atmosphérique diminuant la température d'ébullition s'abaisse, c'est pour cette raison que sur les hautes montagnes l'eau bout au-dessous de 100 degrés : sur le mont Saint-Bernard, par exemple, l'eau entre en ébullition à 93 degrés. Des touristes, se basant sur cette loi de la physique, ont prétendu que l'on ne pouvait pas faire cuire de la viande dans certains lieux élevés et qu'au Saint-Gothard l'eau en ébullition n'était pas assez chaude. C'est une grande erreur. Nous savons que l'albumine se coagule à 56 degrés et la matière colorante du sang à 72 degrés, examinons à quelle température a lieu l'ébullition de l'eau dans les diverses localités :

Localités.	Altitude.	Pression.	Température d'ébullition.
	mètres.		°
Niveau de la mer	»	0,76	100
Saint-Bernard	2491	0,58	93
Quito	2908	0,54	91
Métairie d'Antisana.	4100	0,47	87

Nous devons ajouter qu'avant de faire cuire la viande on la laisse autant que possible subir un commencement de désagrégation; c'est ainsi qu'en été on ne fait cuire du bœuf que douze ou vingt-quatre heures après qu'il a été tué; en hiver on attend de deux à quatre jours. Cependant si l'on attendait quelques jours de plus les effets de la putréfaction se manifesteraient. C'est qu'en effet, aussitôt que la matière organisée est soustraite aux lois et aux forces de la vie, et qu'elle est abandonnée à l'action de l'air et de l'humidité, elle se décompose, se putréfie, exhale une odeur fétide, change de couleur, et parcourt une série d'altération qui la rendent en partie au règne minéral.

Pour prévenir la putréfaction, on soumet la matière animale à des moyens qui la préservent de la fermentation ; tels sont la dessiccation, la salaison, le froid, la désoxygénation, etc. La dessiccation est un des moyens les plus efficaces de conservation, mais dont l'emploi ne peut être que restreint. C'est par ce procédé que dans les régions les plus chaudes de l'Amérique on conserve la viande. Les quartiers de bœuf sont découpés en mince lanière ; l'habileté de l'opérateur consiste à obtenir à l'aide d'un couteau effilé des bandes de chair de plusieurs mètres de longueur qu'on saupoudre de farine de maïs et qu'on fait sécher au soleil sur des supports. Chaque soir, quand on craint la pluie, cette viande, qui ainsi préparée porte le nom de *tasajo*, est mise à l'abri et exposée le lendemain à l'air, et ainsi de suite jusqu'à complète dessiccation. Le tasajo peut se conserver pendant un temps très-long, si l'on a le soin de le préserver de l'humidité ; son usage est très-répandu dans les contrées aurifères où les mineurs ne se livrent pas à l'agriculture. On fait cuire le tasajo comme s'il s'agissait d'un morceau de bœuf, il se gonfle dans l'eau et donne un bouilli très-appétissant. Le bouillon ne laisse rien à désirer quand il est préparé avec soin. En voyage on peut

Digitized by Google

faire frire cette viande dans la graisse, après l'avoir écrasée, et attendrie à coup de pierre ; au sortir de la poêle elle est énormément gonflée et a l'arome du rôti. En campagne le tasajo est d'une grande ressource : un soldat dont le sac en renferme 1 kilogramme porte en réalité 4 kilogrammes de viande fraîche. On peut aussi conserver la viande par la salaison, par l'emploi du sucre et par celui de l'esprit-de-vin, ces substances étant très-avides d'eau la retiennent à l'état de combinaison et produisent un effet analogue à la dessiccation. Pour saler de la viande on la frotte avec du sel, puis on la dépose par lits dans une terrine, enfin on la laisse dans la saumure qui s'est formée. Une basse température s'oppose aussi au développement de la fermentation : ainsi pendant l'été, on conserve facilement dans les glacières la viande de boucherie et le poisson. On sait que Pallas découvrit dans le nord de la Sibérie, renfermés dans les glaces éternelles, des restes d'animaux antédiluviens, dont la chair n'avait subit aucune altération, et dont l'espèce n'existe plus aujourd'hui ; des chiens se sont nourris de cette viande, et l'on rapporte que les Cosaques ne se sont pas privés d'en manger. Appert, dont le mérite est certainement méconnu, a donné, pour conserver la viande, un procédé qui a rendu de grands services, et qui perfectionné en rend chaque jour. Il introduisait les mets tout préparés dans une boîte de fer-blanc qui, parfaitement remplie, était soudée et plongée dans un bain d'eau bouillante où elle restait environ une heure. Tout l'oxygène qui se trouvait dans la boîte passait à l'état d'acide carbonique. Ce procédé a été amélioré de la manière suivante : lorsque les boîtes sont remplies on soude le couvercle qui porte une très-petite ouverture ménagée pour donner issue aux vapeurs qui se dégagent pendant l'opération. Quand la cuisson est terminée et que les vapeurs sortent avec force par la petite ouverture, on retire un peu la boîte du feu et on la bouche avec quelques gouttes de soudure. On refroidit la boîte ; les vapeurs se condensent, le vide se forme, et les parcelles d'air emprisonnées dans les os sont mises en liberté. Ensuite on débouche la petite ouverture, et l'on soumet la boîte à l'action du feu, lequel chasse au dehors tout l'air qui pourrait se trouver dans la boîte. Lorsque la vapeur sort on ferme comme précédemment l'ouverture avec une goutte de soudure. En répétant cette opération plusieurs fois, les substances renfermées dans la boîte peuvent se conserver plusieurs années.

C'est en Amérique que la viande est maintenant au plus bas prix ; il y a, dans les steppes, des herbages d'une étendue immense que les Espagnols ont utilisés en y introduisant du bétail. C'est en 1548 qu'on y porta des animaux domestiques ; à cette époque une truie se payait 4000 francs, une vache de 1200 à 1500 francs. En peu de temps il y eut un tel développement que des propriétaires eurent dans leur ferme de 25 à 30 000 bêtes à cornes. Aussi le prix a baissé en proportion :

En 1804	un cheval coûtait....	10 francs
—	taureau.....	5
—	bœuf.....	25
—	mouton.....	2
—	cuir de bœuf..... ..	5

Maintenant que nous connaissons la composition de la chair musculaire et son rôle dans l'alimentation, je vais vous dire quelques mots sur les trichines, qui sont des animalcules microscopiques que l'on rencontre dans la chair de certains animaux vivants et particulièrement dans les muscles du porc. Très-souvent la trichine est renfermée dans une enveloppe calcaire et elle apparaît alors sous la forme d'un petit corpuscule blanc. Hilton avait, le premier, observé ces petits corps calcaires dans les muscles, mais il n'avait pas découvert la trichine renfermée à l'intérieur. Ce fut Owen, en 1835, qui trouva cet animalcule enkysté, en fit la description, et lui donna le nom de *trichina spiralis* (de θρίξ, τριχός, cheveu).

Lorsque des morceaux de viande contenant des trichines enkystées sont ingérés dans l'estomac, le suc gastrique dissout la matière calcaire et met l'animal en liberté ; celui-ci engendre des embryons, et ces derniers, sans quitter l'animal ou l'homme dont ils sont les parasites, percent la paroi intestinale et pénètrent dans les divers organes, et plus particulièrement dans les muscles ; là ils désorganisent les fibrilles et les granulations de la fibre musculaire. Alors ces trichines grandissent, s'enroulent en spirale et finissent par s'enkyster environ trois ou quatre semaines après l'émigration. Elles n'éprouveront plus de modifications que quand ce muscle sera mangé par un autre animal.

La présence des trichines dans le corps de l'homme entraîne quelquefois la mort ; on a rencontré des cas assez accumulés pour porter le nom d'épidémies. A Hettstaedt, il y eut plus de 150 malades et plus de 20 cas mortels.

Les symptômes de la trichinose sont très-variés ; le diagnostic, difficile, n'est certain seulement que lorsqu'on a découvert des trichines dans les mets dont les malades ont mangé ou dans leurs propres muscles. Tantôt ce sont des symptômes d'embarras gastrique, d'irritation intestinale, de catarrhe intestinal, de dysenterie ; tantôt ce sont ceux de la goutte ou du rhumatisme, quelquefois de la fièvre typhoïde, etc.

M. Virchow a fait des expériences pour savoir quels sont les animaux qui, après avoir mangé de la viande trichinée, étaient eux-mêmes infectés. Il n'a jamais réussi à reproduire des trichines musculaires chez les chiens, quoique dans leurs intestins elles se développent facilement. De même les essais faits sur le mouton, le bœuf, la poule et le pigeon, ont été sans résultat. Une certaine disposition de l'intestin semble empêcher l'émigration des trichines dans les autres parties du corps. On ne sait pas si les trichines trouvées chez la taupe, les oiseaux carnivores et le chat sont identiques avec celles du porc et de l'homme. En résumé, la viande des carnivores seule peut offrir des dangers sous le rapport de l'alimentation.

On ne connaît pas encore de véritables spécifiques contre les trichines ; mais par contre il existe des mesures de précaution capables d'écarter le danger. On devra d'abord prévenir autant que possible l'infection des porcs par les trichines ; il ne faut donc pas leur donner pour nourriture une substance animale suspecte, car on ne peut admettre une génération spontanée de trichines dans la viande de porc. On devra avoir recours à l'examen microscopique pour la viande de porc, qui est consommée en grande quantité. On devra enfin ne jamais manger de viande de porc crue, ni même à moitié crue. Une température de 100 degrés et même celle de 80 degrés à laquelle se coagule l'albumine, tue les trichines ; mais il faut remarquer que dans le rôtissage ou dans certaines cuissons, le centre n'atteint pas cette température lorsque le morceau a un certain volume, et dans ce cas les trichines, s'il en existe, ne périssent point toutes. Il paraît qu'une longue salaison de la viande, une fumigation chaude de vingt-quatre heures et une longue conservation de la viande fumée à froid sont autant de causes qui détruisent les trichines. — H. Amaury.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE NUMÉRO 30 23 JUIN 1866

SOIRÉES SCIENTIFIQUES DE LA SORBONNE.

CONFÉRENCE DE M. PAUL BERT.

Sur la physiologie du système nerveux.

Mesdames, messieurs,

Je dois vous entretenir, dans le cours de cette conférence, de la physiologie du système nerveux. C'est là, si je ne me fais illusion, un sujet dont l'intérêt et l'importance n'ont pas besoin, pour être appréciés de tous, de grands efforts, de grands préliminaires oratoires. Chacun sait, en effet, que le système nerveux est l'agent de ces fonctions suprêmes qui caractérisent l'animal et qui l'élèvent au-dessus des autres êtres vivants, qu'en lui résident la sensibilité, la cause du mouvement, l'intelligence.

Dans le langage du monde, le système nerveux a pris, soit au propre, soit au figuré, une place immense et justement méritée. Dans le langage médical, la nature élevée, sublime, en quelque sorte, de ses actes, l'obscurité qui entoure sur beaucoup de points leur connaissance et leur explication, l'ont rendu, si l'on peut ainsi parler, le bouc émissaire de toutes les maladies mystérieuses; si bien que, dans la bouche de beaucoup de gens, il s'est substitué à ces humeurs peccantes dont s'est tant amusé Molière. Tous, nous nous le figurons, au dedans de nous-mêmes, établissant à l'aide de mille appareils divers les relations de notre corps avec le monde extérieur, et, par la sentinelle douleur, veillant à notre sûreté. L'impression reçue, nous sentons qu'elle voyage vers des lieux où elle éveille des réactions variées. Si son énergie est grande, tout s'émeut, tout s'ébranle dans la république vivante, et des mouvements divers agitent nos organes tant internes qu'externes. Ce n'est pas tout : sans qu'aucune excitation venue du dehors n'ait en apparence troublé notre équilibre, des mouvements apparaissent, des idées s'éveillent; l'intelligence entre en scène et manifeste son action par des expressions volontaires ou par de nouvelles idées.

Vous le voyez déjà, messieurs, si complexes que soient ces actes du système nerveux, ils peuvent être classés en deux groupes principaux : les uns sont liés à une impression extérieure ou intérieure qui les suscite et dont ils ne sont que le retentissement; les autres révèlent la spontanéité, affirment la personnalité agissante de l'animal; nous appellerons les premiers *actes réflexes;* aux autres nous donnerons le nom d'*actes spontanés*, conscients, volontaires.

Un champ immense s'ouvre donc devant nous. Pour essayer de le parcourir dans le court espace d'une heure, d'une manière digne du lieu où j'ai l'honneur de parler et de l'auditoire qui me fait l'honneur de m'entendre, il m'a fallu chercher un lien qui me permtt de rassembler ces phénomènes épars, et de les rapporter à quelque fait simple et dominateur; ce lien, je l'ai demandé à la physiologie générale.

Je vais donc vous entraîner pendant quelques instants dans des sphères peu familières à beaucoup d'entre vous; nous allons nous occuper de physiologie générale, c'est-à-dire que, faisant abstraction de tout ce qui est particulier au système nerveux de tel animal ou à telle partie de ce système, nous allons nous élever à l'étude de ce qui appartient à toutes les parties du système nerveux de tous les animaux, donnant ainsi, au plus haut degré, à nos démonstrations le caractère de l'universalité. Et lorsque ensuite nous descendrons de ces hauteurs sur le terrain des faits de détail, vous verrez de quelle vive lumière ils s'éclaireront, et combien l'étude de ces questions, qui ont fait pendant si longtemps le désespoir des médecins et des philosophes, deviendra pour nous relativement facile. Mais, dans cette tâche arduc, je n'aurai pas le secours d'expériences brillantes, de figures curieuses; je reste réduit à mes propres forces, et je succomberais sans doute, si je ne savais pouvoir compter sur votre bienveillance et votre attention active et soutenue. C'est beaucoup demander, sans doute; mais s'il est vrai de dire que noblesse oblige, on a le droit d'exiger beaucoup d'un public parisien.

Nous nous occuperons, en premier lieu, des *actes réflexes*, c'est-à-dire des actes provoqués par une excitation. Parmi eux, un grand nombre s'exécute sans qu'intervienne aucunement la volonté de l'animal. Pour vous en donner des exemples, j'aurai recours à vos souvenirs personnels : qui d'entre vous n'a vu se tordre la queue cassée d'un lézard ou les tronçons d'un ver de terre? Là, il ne peut être question de volonté : qu'y a-t-il donc? En analysant le phénomène, on voit qu'il se compose

Digitized by Google

de deux choses : d'une excitation, et d'une réaction qui se traduit par un mouvement.

Or, le système nerveux, si complexe qu'il soit dans la réalité anatomique, lorsqu'on le considère seulement par rapport à l'excitation et au mouvement, peut être réduit à une expression bien simple, que représente schématiquement la figure 194, à savoir :

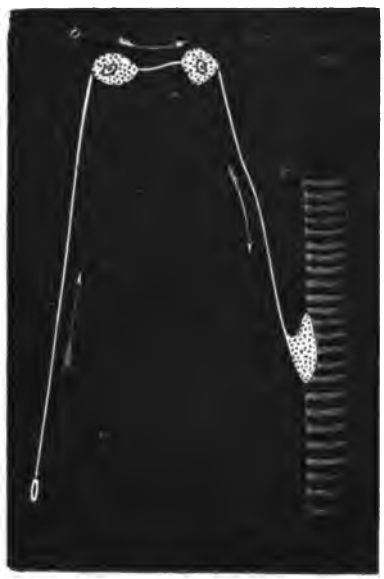


Fig. 194. — Traité schématique de l'arc nerveux sensitivo-moteur.

1° Un organe périphérique, propre à recevoir les impressions extérieures, et communiquant (flèche ascendante), à l'aide d'une sorte de filament, avec un organe central capable de les percevoir; 2° un organe central propre à commander le mouvement, et communiquant (flèche descendante), aussi à l'aide d'un filament, avec un appareil contractile capable d'exécuter le mouvement ordonné ; 3° un moyen d'union (flèche transversale) entre l'organe sensible et l'organe moteur.

En d'autres termes, le système nerveux est réduit par l'analyse à des filaments auxquels on a donné le nom de *tubes nerveux*, et à de petits corps globulaires qu'on a appelés *cellules nerveuses*. Que sont ces tubes et ces cellules ?

Mais remarquons d'abord combien la figure 194 explique clairement l'expression d'*actes réflexes* que, depuis Astruc (1743), la science a adoptée, la seule direction des flèches fait songer à une réflexion de l'impression nerveuse sur les centres, comparable à la réflexion sur une glace d'un rayon lumineux.

Les tubes nerveux, dont la structure est assez complexe, ont un diamètre très-petit, qui ne dépasse guère un ou deux centièmes de millimètre; mais ils peuvent acquérir une grande longueur, puisque certains d'entre eux s'étendent depuis l'extrémité des doigts jusqu'à la colonne vertébrale. Beaucoup de physiologistes sont persuadés que la vibration qui se meut dans ces tubes n'est autre chose qu'une vibration électrique. Il m'est impossible d'entrer ici dans l'analyse des raisons qui militent pour ou contre cette opinion; je dois cependant faire remarquer que si l'on coupe un fil électrique et qu'on en rapproche ensuite les deux bouts, l'électricité passe aussitôt, tandis que par la section d'un tube nerveux le courant est interrompu malgré tout rapprochement. Je rappellerai encore, à cause de l'importance qu'elle paraît avoir (1) à ce point de vue, la lenteur avec laquelle se transmet l'ébranlement nerveux; tandis que l'électricité parcourt des milliers de lieues par seconde, il marche à pas de tortue : dans les nerfs de l'homme : sa vitesse ne dépasse certes pas 50 mètres par seconde; en sorte que, par suite de cette remarquable lenteur, nos sensations et nos mouvements sont nécessairement bornés dans à leur rapidité.

On a cru, pendant longtemps, que les tubes nerveux qui apportent aux centres l'impression sensible et ceux qui en emportent l'impression motrice étaient de nature différente; on pensait que l'ébranlement ne pouvait se mouvoir que suivant une direction centripète dans les uns, et suivant une direction centrifuge dans les autres. Des expériences récentes, auxquelles se rattachent particulièrement les noms de MM. Philipeaux et Vulpian, ont rectifié sur ce point les idées des physiologistes. On sait maintenant que les propriétés de ces tubes sont identiques, et que l'impression qui les frappe en un point quelconque de leur trajet se transmet également dans les deux sens.

Les cellules nerveuses (fig. 195) sont de petits corps irré-

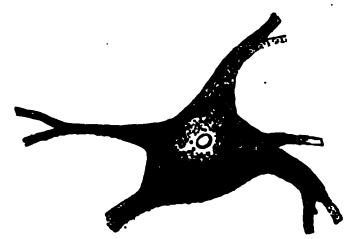


Fig. 195. — Cellule nerveuse (fort grossissement).

gulièrement sphériques, formés d'une matière demi-fluide au milieu de laquelle est un noyau. Leur diamètre atteint et dépasse même parfois un dixième de millimètre, c'est-à-dire qu'elles deviennent visibles à l'œil nu. Leurs propriétés sont vraiment merveilleuses ; certaines d'entre elles, vous l'avez vu, sont susceptibles de percevoir les impressions; les autres, au contraire, ne peuvent que transmettre aux muscles, à la chair, l'ordre d'agir.

Ainsi se trouve expliqué comment, reçue à la périphérie du corps, l'impression apportée par le nerf de sensibilité se modifie dans l'appareil cellulaire sensitivo-moteur, et se propage ensuite le long du tube moteur jusqu'au muscle qu'elle fait contracter.

Pour qu'un mouvement s'exécute, est-il nécessaire que l'impression ait lieu à l'extrémité périphérique du

(1) Je dis *paraît avoir*, car le mode de propagation de l'électricité et probablement aussi du courant nerveux ne saurait être comparé à celui de la lumière, par exemple. — Voyez la leçon de M. Marey sur ce sujet dans le numéro 21 (21 avril 1866), p. 346.

Digitized by Google

nerf sensitif? En aucune façon. A quelque point que soit excité l'arc nerveux sensitivo-moteur, l'excitation continue son chemin toujours dans le même sens, qu'elle soit partie de l'extrémité périphérique, du nerf ascendant, de la cellule de sensibilité, de la cellule de mouvement, du nerf de mouvement, elle aboutit toujours à une contraction, à un mouvement. En termes généraux, toute rupture d'équilibre dans le système nerveux se propage et manifeste son action dans la direction qui va de la sensibilité au mouvement.

Si j'ai été assez heureux pour vous expliquer d'une manière satisfaisante la constitution, les rapports et les propriétés des tubes nerveux et des cellules nerveuses; si vous voyez nettement comment la perception se transforme en excitation motrice, et comment celle-ci se transmet aux parties capables de mouvement, vous possédez dès maintenant une notion suffisamment exacte de tous les actes involontaires réflexes, et, le plus difficile étant fait, nous pouvons, après cette étude rapide des éléments nerveux et de leurs propriétés, passer à celle des appareils nerveux et de leurs fonctions.

En effet, ces cellules nerveuses, ces filaments nerveux ne sont pas isolés dans le corps. Les filaments sont réunis les uns aux autres comme les fils d'un écheveau, lequel écheveau est composé, le plus souvent, tout à la fois, de tubes qui portent la sensibilité et de tubes qui rapportent le mouvement : ce sont là les *nerfs;* quant aux cellules, elles sont groupées dans des lieux particuliers qui portent le nom de *centres nerveux.* Il ne faudrait pas se figurer que, dans les centres nerveux, les cellules de sensibilité et de mouvement soient réunies seulement deux à deux. Bien au contraire, les cellules ont des rapports des plus complexes et des plus variés. Ainsi, une cellule de sensibilité communique non-seulement avec une cellule de mouvement, mais avec plusieurs, et, en outre, elle communique avec d'autres cellules de sensibilité, lesquelles se reliant à leur tour avec des cellules de mouvement constituent un réseau inextricable d'où naissent par une impression unique, des réactions multiples. Cette complexité de rapports des cellules, pressentie par les médecins, cherchée en vain par les anatomistes, et si nécessaire pour expliquer tant d'actions réflexes normales ou morbides, a enfin été découverte en 1852 par un anatomiste illustre, dont je ne puis, en ce lieu surtout, témoin de son dernier triomphe, prononcer le nom sans une émotion douloureuse, par mon éloquent et bien cher maître, Pierre Gratiolet (1).

Nous savons maintenant ce que c'est qu'un centre nerveux. Je vous demanderai la permission de faire une courte excursion dans le domaine de l'anatomie comparée, afin de vous montrer comment les centres nerveux sont disposés dans les trois grands embranchements des Mollusques, des Articulés et des Vertébrés.

(1) Voy. l'*Éloge de Gratiolet*, par M. P. Bert, dans le n° 24 (12 mai 1866), p. 888.

Voici (fig. 196) le système nerveux d'un Mollusque, d'un Argonaute; vous voyez les centres (*a*, *b*, *c*, *g*, *h*) dispersés

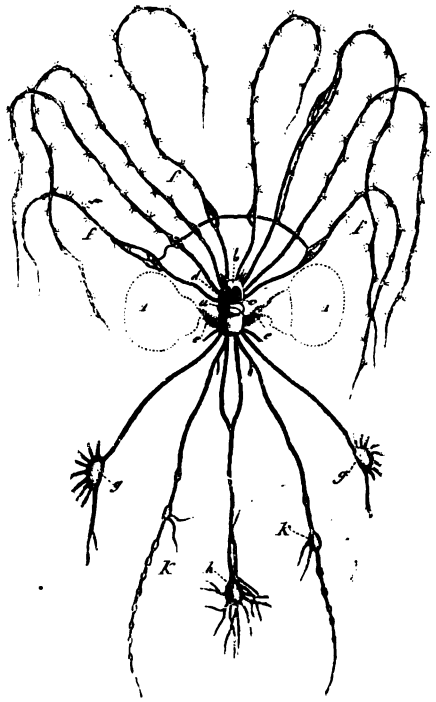


Fig. 196. — Système nerveux d'un mollusque céphalopode.

pour ainsi dire sans ordre dans les différentes régions du corps.

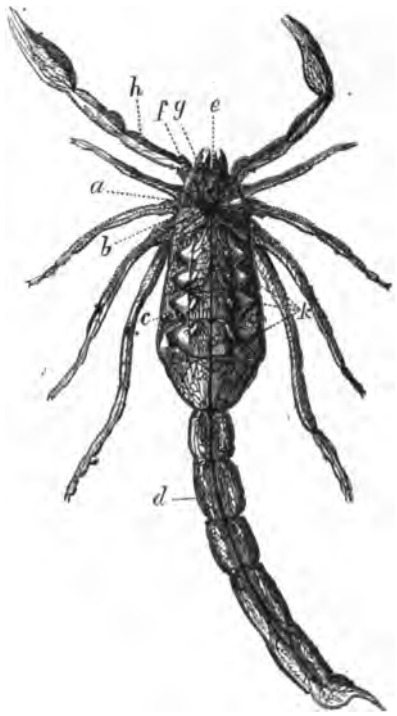


Fig. 197. — Système nerveux d'un articulé (Scorpion).

Chez ce Scorpion, au contraire (fig. 197), vous voyez les centres (*a*, *b*, *c*, *d*) groupés en une série longitudinale,

Digitized by Google

située tout entière (sauf son extrémité antérieure) au-dessous du tube digestif.

Voici enfin (fig. 198) un système nerveux de Vertébré.

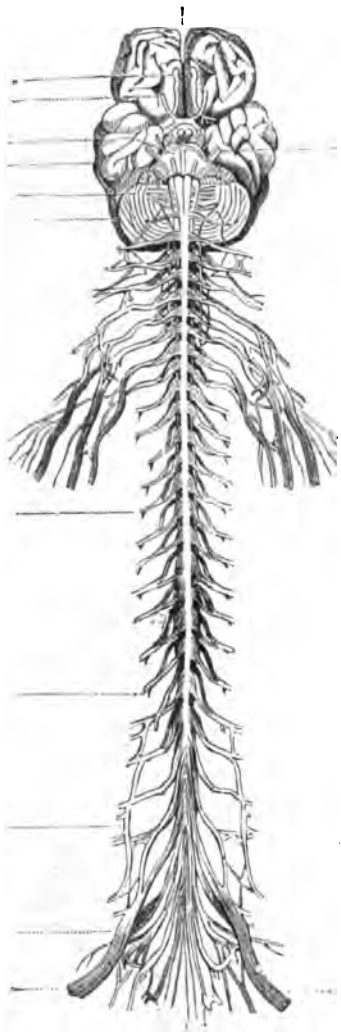


Fig. 198. — Système nerveux de vertébré (d'après l'*Hist. naturelle* de M. Focillon).

Il semble qu'ici il n'y ait plus qu'un centre, lequel est cette longue tige très-renflée à son extrémité antérieure, et située tout entière au-dessus du tube digestif; je dis, il semble, car une observation un peu plus attentive montre que cela n'est pas exact. On trouve, en effet, en outre de ce grand centre qu'on appelle la *moelle épinière*, et dont le renflement antérieur constitue l'*encéphale*, des petits centres reliés à celui-ci, mais possédant une action indépendante, centres qu'on désigne sous le nom de *ganglions* nerveux, et dont l'ensemble constitue le système du *grand sympathique*. La figure 199 vous montre la structure d'un de ces ganglions.

C'est, dès maintenant, du système nerveux des animaux vertébrés que je vais vous entretenir d'une manière presque exclusive. Aussi bien, est-ce évidemment celui qu'il nous importe le plus de connaître, puisque l'homme, par sa constitution physique, appartient à ce grand groupe zoologique.

Parlons d'abord du centre le plus important, de ce long cordon que je vous montrais tout à l'heure, du centre cérébro-spinal, comme on l'appelle souvent, composé de la *moelle épinière* contenue dans le canal

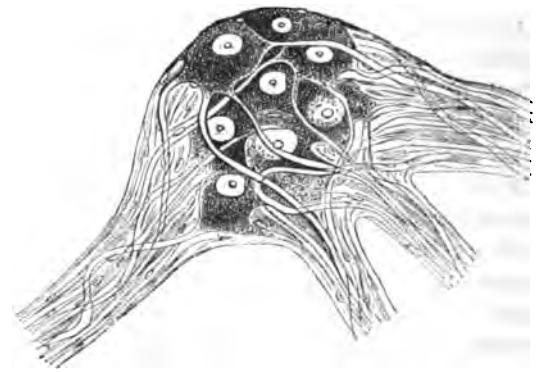


Fig. 199. — Structure d'un ganglion nerveux du grand sympathique (fort grossissement).

de la colonne vertébrale, et de l'*encéphale* contenu dans le crâne. Je dirai, par anticipation, que la conscience et la volonté, que l'intelligence, en un mot, réside dans une certaine partie de cet encéphale, et par conséquent dans la tête. Par suite, la tête étant enlevée, le reste du corps peut bien se mouvoir sous des excitations diverses; mais nous sommes ici en pleine action réflexe ; dans ce tronc il n'y a plus de sensibilité consciente, et nous pouvons expérimenter sur lui sans nul remords; il ne peut pas souffrir.

Voici un train postérieur de grenouille sur lequel nous allons expérimenter; les deux pattes (fig. 200) sont re-

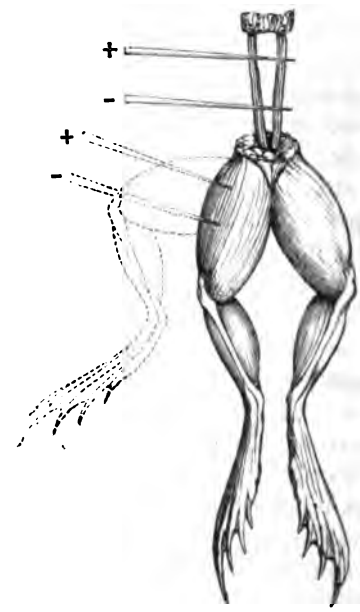


Fig. 200. — Train postérieur de grenouille préparé pour montrer l'action directe et l'action réflexe.

liées par leurs nerfs à un tronçon de la moelle épinière :

Excitons l'un des nerfs à l'aide d'un très-faible courant électrique : nous obtenons un mouvement dans la

Digitized by Google

patte correspondante qui prend la position marquée dans la figure par un trait pointillé; excitons directement la moelle épinière : même résultat; enfin, agissons sur l'un des nerfs avec un courant plus énergique, aussitôt les deux pattes se mettent en mouvement. Dans les deux premiers cas il y avait *action directe*, soit sur le nerf, soit sur les cellules de la moelle; dans le dernier cas, il y a eu, en outre, *action réflexe* à travers la moelle épinière : cet organe est donc bien un *centre nerveux*, un lieu de transformation des ébranlements centripètes en ébranlements centrifuges.

Il faut en dire autant pour les ganglions nerveux du nerf grand sympathique, dont j'ai parlé tout à l'heure. La constatation de cette vérité, depuis longtemps entrevue, est tellement difficile que c'est seulement depuis peu d'années, grâce à une belle expérience de mon illustre maître M. Cl. Bernard, qu'on a pu la démontrer d'une manière nette. Cette expérience, je ne saurais la reproduire devant vous, et je dois me contenter de vous en faire le récit.

L'écoulement de la salive dans la bouche, au moment où quelque aliment sapide touche la langue, est dû à un mouvement intime de la nature duquel je n'ai pas à vous entretenir, mais qui se passe dans des glandes salivaires par suite d'une action réflexe. Voici deux de ces glandes, M et N, avec leurs conduits P et Q (fig. 201); l'impression

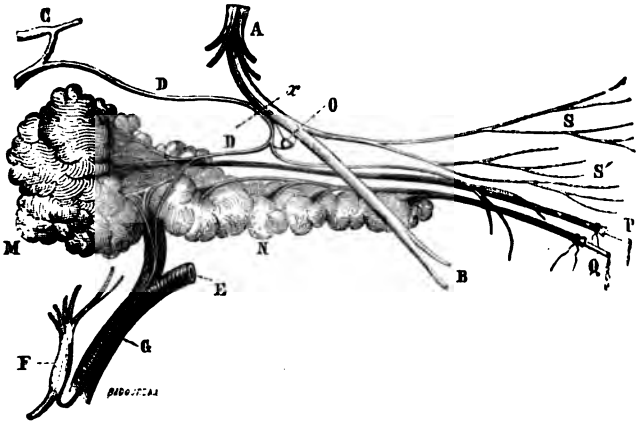


Fig. 201. — Glandes salivaires sous-maxillaire et sub-linguale du chien.

reçue sur la langue suit le nerf de sensibilité S, remonte jusqu'à la moelle épinière, revient par le nerf moteur D, et la salive s'écoule alors : jusqu'ici, rien d'extraordinaire. Mais si l'on interrompt la communication entre la moelle et la glande, si l'on coupe le nerf en x, on voit que, en excitant la langue, la sécrétion salivaire a encore lieu. Or, voici qu'il existe un ganglion du sympathique O, lequel reçoit aussi des nerfs sensibles de la langue, et envoie dans la glande des filets moteurs; c'est en lui que se fait la réflexion, c'est lui qui est le centre duquel part le mouvement intra-glandulaire. Si, en effet, on coupe le nerf qui en part, la sécrétion s'arrête aussitôt.

Il y a donc, répandus en des points nombreux de l'organisme, des centres nerveux qui reçoivent et transmettent, et qui, j'attire sur ce point votre attention d'une manière spéciale, sont eux-mêmes en rapport avec la moelle épinière, de manière à constituer un vaste lacis dont toutes les parties sont solidaires et qui embrasse et pénètre le corps tout entier.

Mais, revenons pour un moment aux nerfs, afin d'étudier avec précision leurs relations avec les centres nerveux. Arrivés à la moelle épinière, ils affectent une disposition très-remarquable; ils se bifurquent et présentent deux dents, deux racines, l'une antérieure (chez l'homme, inférieure chez les quadrupèdes), l'autre postérieure. Celle-ci contient les tubes sensitifs et la portion antérieure possède seule les tubes moteurs. C'est un fait capital dans l'histoire du système nerveux des animaux Vertébrés, fait dont la découverte, longtemps attribuée à l'Anglais Ch. Bell, appartient à notre célèbre compatriote Magendie (1).

Une coupe transversale de la moelle va nous aider dans notre description (fig. 202). La racine antérieure E, la postérieure G, pénètrent dans la moelle; celle-ci est composée de deux substances : l'une centrale, grise, possédant des cellules, L; l'autre périphérique, blan-

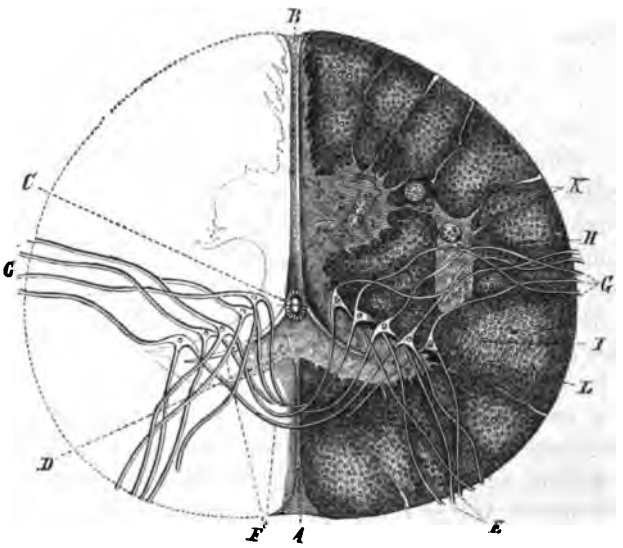


Fig. 202. — Coupe transversale de la moelle épinière (dessin schématique).

châtre, constituée seulement par les tubes de communication de ces cellules et par ceux qui forment les racines nerveuses.

Vous voyez que les tubes nerveux aboutissent à des cellules; ceux des racines postérieures (sensibles) à des cellules de sensibilité; ceux des antérieurs (moteurs) à des cellules de mouvement.

Les rapports des cellules entre elles sont bien plus multipliés que ne le montre cette figure schématique;

(1) Voyez Vulpian, *Leçons sur la Physiologie du système nerveux*, p. 105 et suiv. Paris, Germer Baillière, 1866.

Digitized by Google

la suivante (fig. 203) en donne une idée plus exacte; les communications s'établissent d'un côté à l'autre de la moelle, et à des hauteurs diverses dans la moelle, entre des cellules de même nom ou de noms différents.

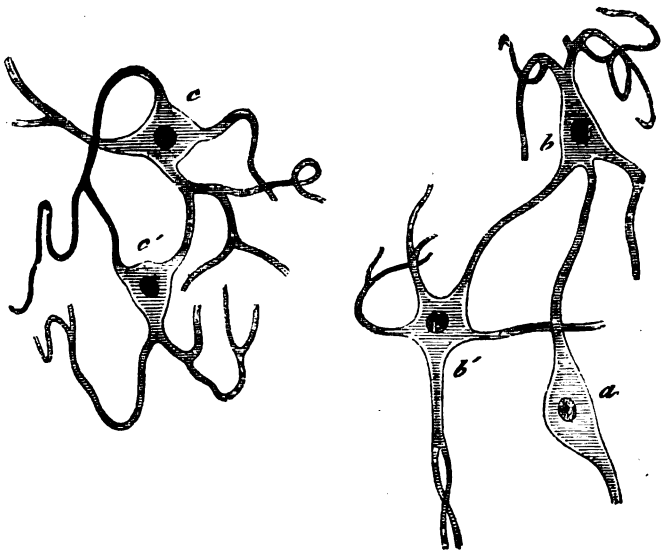


Fig. 203. — Cellules de la moelle épinière (fort grossissement).

Vous comprenez ainsi, messieurs, comment, lorsqu'une cellule sensible est impressionnée, et surtout lorsque cette impression est vive, comment, dis-je, elle devient une sorte de foyer rayonnant d'où s'élancent des ébranlements qui vont agiter autour et bien loin d'elles d'autres cellules soit sensibles, soit motrices. Vous comprenez comment les sensations se généralisent, comment les mouvements apparaissent en des points fort éloignés parfois des points excités, et l'explication générale de toutes les actions sympathiques ne va plus être qu'un jeu pour vous.

La réaction se faisant d'une cellule de sensibilité sur une cellule de mouvement, vous comprenez aussitôt comment celle-ci commande au nerf qui en sort, et comment un mouvement s'opère, et vous ne vous étonnez plus de voir se remuer la patte gauche d'un tronçon de grenouille, alors qu'on pince la patte droite. Vous ne vous étonnez plus, pour prendre en nous-mêmes nos exemples, qu'un corps qui touche le globe de l'œil cause aussitôt une contraction des paupières, qu'un corps étranger arrêté dans le larynx excite les contractions convulsives d'où résulte la toux; vous comprenez le bâillement, la déglutition forcée, l'éternument, le rire convulsif, le cri; vous comprenez la sécrétion des larmes lorsque l'œil est touché, celle de la salive lorsque la langue est impressionnée; les indigestions par arrêt de sécrétion des sucs intestinaux, ou à la suite de l'application d'eau froide sur la peau; les convulsions des enfants lorsque leur tube intestinal est irrité par des parasites ou par toute autre raison, ou lorsque leurs dents poussent douloureusement. Vous comprenez, en un mot, et l'énumération en serait mille fois trop longue, la raison de tous ces mouvements qui, en dehors de notre volonté, et souvent malgré notre volonté même, s'exécutent à l'intérieur on à l'extérieur de nous en réponse à l'excitation qui les a sollicités.

Si la réaction se fait de la cellule de sensibilité impressionnée vers une autre cellule de sensibilité, vous devinez aussitôt qu'une sensation en sera la conséquence. Mais pour qu'il y ait sensation, il faut qu'il y ait conscience. Replaçons donc, pour un instant sur ses épaules la tête de l'animal que nous avons supposé décapité, et rendons-lui l'intelligence. Ou mieux, demandons à notre observation personnelle la réponse à cette question : à quel point du corps va être rapportée la sensation perçue pour ainsi dire par ricochet. Ce sera, messieurs, à la partie du corps où se termine le tube nerveux qui, sorti de cette seconde cellule et de la moelle même, se plonge dans nos organes. Mais ceci demande un mot d'explication.

C'est un fait général que si l'on excite un filet nerveux sensitif en un point de son parcours, nous rapportons l'impression à l'extrémité périphérique de ce filet nerveux. C'est pour cette raison, par exemple, que les amputés, si l'on irrite le moignon de leur membre, croient sentir la main ou le pied qu'on leur a enlevé; ils rapportent la sensation à l'extrémité des nerfs qu'on leur a coupés. Si donc l'impression est faite dans la moelle, c'est encore à cette extrémité que la lésion sera rapportée par une erreur nécessaire. Ceci vous explique comment il arrive souvent qu'en même temps qu'une douleur justifiée, si je puis ainsi dire, par une lésion, s'éveille une douleur qu'on a coutume d'appeler, à tort, purement imaginaire, si bien que les médecins ont fait de ces sympathies de sensation un précieux moyen de diagnostic.

C'est ainsi que l'inflammation du poumon donne un point de côté, que l'inflammation d'un œil rend l'autre œil douloureux, que les petits enfants éprouvent des douleurs intestinales lorsque leurs dents sortent difficilement. C'est ainsi que, à propos d'une piqûre au doigt, par exemple, des douleurs souvent fort lointaines apparaissent comme des éclairs. Ces sympathies s'expliquent tout naturellement, grâce à nos études préliminaires de physiologie générale.

Mais ce n'est pas tout. Les mouvements auxquels commandent les nerfs ne sont pas seulement des mouvements étendus, facilement visibles, grossiers pour ainsi dire, comme de lever le bras, de fermer l'œil, etc... Il y en a d'un ordre plus délicat et pour le moins aussi important, dont je dois vous parler. En le faisant, je vais encore vous citer, avec une vive satisfaction, les travaux de celui des physiologistes modernes qui a fait faire les plus grands progrès à la physiologie générale, et auquel son absence m'autorise à rendre un public hommage d'admiration pour son génie, de respect pour son caractère, et de profonde reconnaissance pour sa paternelle bonté. M. Cl. Bernard a vu que, si l'on coupe, chez un

Digitized by Google

lapin, à la région du cou, certains nerfs, on voit l'oreille du lapin rougir, et sa température augmenter de 4 ou 5 degrés. Voici ce qui s'est passé : les vaisseaux artériels possèdent de petits muscles circulaires qui, sans cesse en contraction, diminuent leur calibre. Si l'on coupe les nerfs qui s'y rendent, cette contraction cesse, et ils se dilatent sous l'afflux du sang énergiquement poussé par le cœur. Comme ce sang, qui vient des parties profondes du corps, est très-chaud, il élève la température des parties ; en même temps elles rougissent, et les vaisseaux y battent violemment. On a là, en un mot, tous les symptômes d'une inflammation locale. Si maintenant on irrite le bout périphérique du nerf ainsi coupé, on voit les vaisseaux diminuer de calibre, le sang en disparaître, et la température des parties s'abaisser beaucoup.

Cette magnifique expérience nous permet d'expliquer comment le système nerveux préside, par la distribution du sang, dont la régularisation lui appartient, à la nutrition de toutes les parties du corps; elle nous fait voir en outre comment à une excitation violente succèdent non-seulement une ou plusieurs sensations, non-seulement un ou plusieurs mouvements généraux, mais la pâleur et le sentiment du froid, par suite d'une contraction vasculaire, ou la rougeur et la chaleur, l'inflammation, par suite d'une cessation réflexe du courant nerveux.

Car l'action réflexe n'a pas seulement pour conséquence une cessation ou une excitation motrice; elle peut aussi avoir pour résultat une cessation de la propriété motrice, et la science a enregistré toute une classe de paralysies dites réflexes. C'est ainsi que nous pouvons comprendre comment l'inflammation du poumon peut être la conséquence d'une excitation trop vive, à l'aide du froid, des nerfs sensitifs de la peau, ou comment, à la suite de brûlures étendues, la mort survient par inflammation des viscères internes.

J'ajouterai encore une remarque, avant de finir l'histoire de la moelle épinière. Dans l'état normal, dans l'état de santé, les actions sympathiques s'exercent entre des nerfs qui sont en relation avec des organes dont le jeu doit être simultané. Ainsi, le contact d'un aliment avec la langue excite la sécrétion de la salive; ainsi, toucher un globe oculaire avec un corps quelconque fait fermer non-seulement un œil, mais les deux yeux. Dans l'état de maladie, ce sont surtout ces relations synergiques qui s'exagèrent ordinairement, quoiqu'il en apparaissent alors de nouvelles. Mais, il arrive souvent, par suite d'un exercice longtemps prolongé, que des actions simultanées, sympathiques, soient acquises par le corps. Ceci est surtout apparent pour les mouvements, et chacun de nous connaît les mouvements acquis, involontaires, qui constituent les habitudes. Ces gestes familiers, dont certains ont nécessité pour être acquis une étude parfois pénible, finissent par devenir purement réflexes, et l'on sait que parfois ils arrivent à échapper à l'empire de la volonté. Nous aurons à revenir sur ces faits, en parlant des instincts.

La moelle épinière pénètre enfin dans le crâne; là elle s'épanouit en divers organes qui forment ce qu'on appelle la *moelle allongée* et le noyau de l'encéphale. Toutes ces parties sont encore en rapport avec la sensibilité et la motricité, et sont le siége d'actions réflexes. Non-seulement elles perçoivent les sensations d'ordre ordinaire qui leur sont apportées de diverses parties de la face, mais elles perçoivent d'autres sensations d'ordre supérieur, qui sont recueillies par des appareils particuliers, connus sous le nom d'organes des sens : ainsi les impressions gustatives, auditives, visuelles. Au point de vue de la motricité, ces parties commandent aux muscles de la face. Enfin, elles sont, en certains points, le siége d'actions générales de la plus haute importance.

A l'endroit même où la moelle pénètre dans le crâne, se trouve un point fort, restreint d'étendue, car il n'a que quelques millimètres dans tous les sens, dont la lésion a pour conséquence la mort immédiate de l'animal. C'est là que le tauréador frappe de son arme aiguë le taureau qui baisse la tête pour le frapper. La mort survient instantanément, parce qu'immédiatement s'arrêtent les mouvements respiratoires. Ce point est donc le centre qui commande aux mouvements respiratoires.

Un peu en avant de lui, est un autre centre non moins important. Vous avez tous entendu parler d'une affreuse maladie, connue sous le nom de diabète sucré, dans laquelle le sucre apparaît avec une telle abondance dans l'économie, qu'elle le rejette par toutes ses excrétions. Lorsque M. Cl. Bernard eut découvert que ce sucre n'est point apporté du dehors, mais qu'il se forme dans le corps même et spécialement dans le foie, il fut amené à voir que l'exagération de sa production est liée à une exagération d'action de certains points de la moelle allongée. En telle sorte qu'il a pu réaliser par expérience sur des lapins, en piquant à travers le crâne ce point du système nerveux, toutes les conditions de la maladie.

C'est encore près de là que se trouve l'origine des nerfs qui commandent aux mouvements du cœur. L'année dernière, à cette place même, M. Cl. Bernard vous disait avec l'éloquente autorité de sa parole, comment ces nerfs, lorsqu'ils agissent, ralentissent ou suspendent les battements du cœur, comment, par suite, des modifications nombreuses surviennent dans tout l'organisme dont les parties se trouvent peu à peu surexcitées ou ralenties dans leurs fonctions par l'afflux plus ou moins abondant du sang nourricier. Ces excitations peuvent être, comme toutes les autres, provoquées, soit par une influence directe sur le centre nerveux, soit par une action réflexe.

Je ne vous en dirai pas davantage sur la physiologie de la moelle épinière et de son épanouissement intra-crânien, et je vais passer à l'étude de parties plus élevées encore par leurs fonctions. Si j'ai eu le bonheur d'être clair dans l'explication des faits nombreux et compliqués

Digitized by Google

que je viens d'exposer devant vous, vous devez vous représenter la moelle comme un vaste ensemble de cellules en communication avec le dehors et entre elles par des filaments nerveux qui établissent entre leurs impressions et leurs actions une solidarité merveilleuse. A peine une cellule est-elle vivement impressionnée, que, comme une toile d'araignée dont un fil est ébranlé, une sorte de frémissement intime parcourt la moelle entière. Des sensations variées, si nous supposons un instant l'intelligence présente, peuvent être perçues, et ces sensations peuvent être d'un autre ordre que celle qui les a excitées; à propos d'une sensation de sensibilité générale, peut naître une sensation visuelle ou réciproquement, fait bien important pour l'histoire des hallucinations. Ce n'est pas tout : des mouvements très-divers peuvent aussi se manifester, et non-seulement des mouvements de locomotion, mais des mouvements respiratoires, mais des mouvements dans les vaisseaux sanguins qui pénètrent la profondeur des organes, engendrant à leur tour des sensations nouvelles. Puis, si ces mouvements des vaisseaux ont pour conséquence un afflux plus considérable de sang vers la moelle, ou, au contraire, une diminution dans sa circulation, d'autres troubles généraux surviennent, par suite d'excitation réflexe au deuxième degré. J'espère qu'en voyant ainsi se dérouler devant vous ces phénomènes si complexes, si nombreux, qui ont été jusqu'à ces derniers temps la pierre d'achoppement de la science, et en les voyant s'expliquer avec une facilité remarquable, vous n'avez pas regretté les quelques minutes qu'il nous a fallu consacrer, au début de cet entretien, à l'aride et pénible étude de la théorie générale des actions réflexes.

Je ne saurais insister davantage sur les fonctions fort obscures, du reste, des autres régions de la moelle allongée et du noyau de l'encéphale. Je vais indiquer rapidement celles de deux organes d'importance capitale, qui sont, par l'échange de fibres nombreuses, en rapport intime avec les précédents, le cervelet en arrière,

Fig. 204. — Encéphale d'un Kanguroo.

le cerveau en avant. Voici une figure (fig. 204) qui vous montre ces deux organes chez un kanguroo; le cervelet est, vous le voyez, beaucoup moins étendu que le cerveau.

Tous deux sont formés, cervelet et cerveau, de même que la moelle, par des cellules et des tubes nerveux qui relient les cellules entre elles, en sortent au dehors pour se répandre dans la moelle.

Les fonctions du *cervelet*, dont nous nous occuperons d'abord, sont liées d'une façon remarquable (qui a été été mise en lumière par les belles recherches de M. Flourens) à la coordination des mouvements volontaires; si on blesse cet organe, si on l'enlève, chez un animal, celui-ci devient incapable de se tenir immobile ou de marcher en équilibre. Chez un homme, si quelque apoplexie le lèse, aussitôt l'équilibre se rompt; en vain la volonté s'efforce de diriger régulièrement l'action des bras ou des jambes, des mouvements désordonnés répondent seuls à son commandement.

Enfin, en avant et au-dessus de tous ces organes, se trouve le *cerveau*, où toutes les observations médicales comme toutes les expériences physiologiques ont montré que résident l'intelligence, la conscience, la volonté. Il est insensible par lui-même, c'est-à-dire que ses lésions ne sont pas douloureuses; mais si quelque chose le blesse profondément, expérience ou maladie, l'intelligence est aussitôt atteinte. Si on l'enlève, il reste un corps capable de répondre aux excitants, et de se mouvoir régulièrement, puisque sa moelle épinière et son cervelet sont intacts, mais duquel ont disparu l'individualité, la personnalité, la spontanéité intelligente.

On peut faire l'expérience sur des oiseaux sans grand danger pour leur vie. On voit alors qu'ils respirent, que leur sang circule, que les actes divers de la digestion s'exécutent sans trouble; si on les ébranle, ils marchent; si on les jette en l'air, ils volent; ils suivent des yeux une lumière qu'on leur présente, ils tressaillent aux bruits extérieurs. Mais si nulle excitation extérieure n'agit sur eux, ils restent éternellement immobiles, statues vivantes, incapables de chercher leur nourriture, de pourvoir à aucun de leurs besoins, d'exécuter aucun des actes qui sont du domaine de l'intelligence et de l'instinct.

Cette expérience admirable, due à M. Flourens, nous explique comment le corps se suffit à lui-même, et n'a pas besoin de l'intelligence pour veiller à ses besoins; comment celle-ci, libre, débarrassée de ces soucis inférieurs, peut, semblable à un chef d'État qui n'a pas à s'occuper des détails administratifs, vaquer à ses fonctions sublimes, c'est-à-dire penser.

Le cerveau de beaucoup d'animaux mammifères est sillonné de plis ou circonvolutions dont la complication est parfois fort difficile à débrouiller. On a cherché s'il n'existait pas un certain rapport entre le nombre de ces plis et le degré d'intelligence des animaux; on remarquait que les singes, par exemple, ont le cerveau très-plissé, et qu'il est lisse chez un lapin. Mais il a fallu renoncer à cette idée, car alors un chien serait moins intelligent qu'un bœuf ou qu'un mouton, ayant le cerveau beaucoup moins plissé qu'eux.

Digitized by Google

D'autres physiologistes ont émis cette idée qu'il y a sans doute un rapport direct entre le poids du cerveau des divers animaux et leur intelligence. La plupart des faits militent en faveur de cette opinion, mais ici encore l'expérience a démontré l'impossibilité d'une règle absolue, car à ce point de vue le chien viendrait après le lapin, la taupe, la chauve-souris, et l'homme lui-même ne serait rien moins qu'au premier rang.

Enfin l'intelligence se manifeste par des facultés diverses. Les hommes possèdent ces facultés à des degrés variables. Cette diversité correspondrait-elle à quelque inégalité de développement des régions cérébrales? Serait-il possible de localiser dans quelque point des hémisphères cérébraux chacune de ces facultés? On l'a tenté depuis longtemps. C'était l'un des rêves des scolastiques. Sans me prononcer sur le principe, je n'hésite pas à dire que tous les essais faits jusqu'à ce jour ont complétement échoué.

Vous en connaissez tous un exemple fameux; vous avez vu de nos jours s'édifier et s'écrouler également vite l'échafaudage phrénologique de Gall; vous vous rappelez ce système brillant d'après lequel il suffisait d'examiner la tête d'un individu pour constater ses aptitudes spéciales; vous savez comment, par une conséquence immédiate des principes, on était arrivé à proposer de pétrir la tête d'un enfant dans l'idée de le douer de telle ou telle faculté. Tout ce système a disparu, malgré l'admirable talent de polémique de son auteur, devant l'évidence des faits; sans parler des erreurs d'application qui se lient trop souvent à l'histoire des faiblesses et des supercheries, en ne nous occupant que des conséquences scientifiques, il faudrait, pour satisfaire au système de Gall, que le lapin soit plus carnassier que le loup, l'âne plus musical que le rossignol, etc. Gall est allé jusqu'à écrire que le serpent est le symbole de l'art de la médecine, parce qu'il a la tête large et carrée en arrière comme les grands généraux!...

Ne veuillez voir dans mes paroles qu'une intention critique, mais non malveillante. On doit, il est vrai, pousser à l'extrême, à l'absurde, les systèmes pour montrer leur fausseté; mais il faut se garder de railler ceux qui les ont émis de bonne foi. Ils ont cherché la vérité, et leurs erreurs ne prouvent que ce qui n'a pas besoin d'être prouvé, l'infirmité de notre esprit, ou plutôt notre peu de souci de mesurer notre tâche à nos forces, et notre impatience de conclure. Nouveaux Sisyphes, sans cesse nous remontons sur la pente ardue le roc qui retombe sans cesse; ayons du moins pour l'œuvre de ceux qui nous ont précédés l'indulgence qu'un jour peut-être on sera forcé de réclamer pour la nôtre.

Les actes dont les hémisphères du cerveau sont le siége peuvent être, comme ceux qu'exécute la moelle épinière, réflexes ou directs. Quand ils sont réflexes, le mécanisme est le même que pour ceux de la moelle, l'instrument élémentaire est le même, ou, du moins, nos moyens d'investigations ne nous y font pas voir de différences notables.

Les fibres parties des cellules sensibles de la moelle épinière arrivent aux cellules du cerveau, et de la transmission à ces cellules de l'ébranlement qu'elles apportent résulte la sensibilité consciente. Celles-ci, par l'intermédiaire de fibres qui descendent dans toutes les profondeurs de la moelle et se rendent aux cellules motrices, commandent le mouvement dit mouvement volontaire, dont l'action simultanée du cervelet assure la régularité.

Cette sensibilité consciente, d'où peuvent résulter non-seulement les mouvements, mais les idées, est soumise aux mêmes lois que la sensibilité inconsciente de la moelle épinière, c'est-à-dire qu'elle répond à des excitations venues, soit du dehors, soit d'organes éloignés, et encore à des excitations intérieures directes.

L'excitation par les objets extérieurs est évidente; l'excitation réflexe venant d'organes éloignés est également bien connue : l'histoire des maladies nerveuses en contient des exemples à milliers, et chacun sait que dans certaines circonstances, trop délicates pour que je puisse faire autre chose que les indiquer ici, des appétits étranges, des désirs déréglés sont souvent la conséquence cérébrale d'un travail qui s'accomplit dans quelque point éloigné de l'organisme. Ce sont là des faits qui dominent la théorie des rêves.

Réciproquement, les idées réagissent non-seulement sur les mouvements généraux, mais sur les mouvements intimes du corps : l'idée d'un bon repas fait venir, dit-on, l'eau à la bouche; l'idée d'une injure fait pâlir, celle d'un objet horrible fait frissonner, etc.

L'action des excitations directes de la matière cérébrale ne présente pas moins d'exemples familiers. Que, par exemple, le cœur exagère ses battements, et envoie au cerveau plus de sang que d'ordinaire : aussitôt les mouvements généraux du corps s'exagèrent, les idées s'éveillent plus abondantes, jusqu'à amener, par delà les limites de l'inspiration, le délire; au contraire, que le cœur se ralentisse, suspende ses battements : le sang cesse d'affluer, la pensée s'arrête, et souvent le mouvement et la conscience disparaissent par la syncope. Réciproquement, une impression extérieure perçue par le cerveau agit sur les mouvements du cœur, de façon à établir entre ces deux organes une solidarité sentie par tout le monde, et dont les raisons physiologiques vous ont été données d'une manière si complète et si élevée dans la conférence de M. Cl. Bernard (1).

Voici donc expliquées, dans le corps tout entier, ces réactions multiples, variées, pour lesquelles l'ancienne médecine avait invoqué tant de mystérieuses hypothèses. Entre les centres qui président à la sensibilité inconsciente, aux mouvements généraux et aux mouvements

(1) Voyez le n° 19 de la deuxième année de la *Revue des Cours scientifiques*, 1865, p. 314.

Digitized by Google

intimes, entre ces centres, dis-je, et ceux où résident la conscience et la volonté, des échanges fonctionnels se font incessamment, et il suffit de réfléchir un instant pour voir combien doivent être complexes ces réactions des idées sur les actes, des actes sur les idées, des actes sur les actes, des idées sur les idées.

Mais il est, chez l'animal, d'autres mouvements, d'autres idées que celles éveillées par une excitation, soit intérieure, soit extérieure à lui ; il en est de directs. Les cellules cérébrales sont le siége de phénomènes d'un ordre plus élevé encore. Il semble qu'en elles réside non-seulement le pouvoir de sentir et de transformer, chose déjà bien merveilleuse, mais le pouvoir de créer : si bien que, contrairement à tout ce que nous connaissons sur les transmutations des forces physiques, il naîtrait en elles, chez le plus infime des animaux, par cela qu'il est volontaire, une force spontanément apparue. Quelle peut être la cause de cette création? nous l'ignorerons à tout jamais. Mais quoi? savons-nous pourquoi nos muscles se contractent, pourquoi une molécule acide se précipite sur une molécule basique, pourquoi une pierre lancée se dirige vers le centre de la terre? Contractilité, affinité, gravitation, sont-ce autre chose que des mots inventés pour cacher notre ignorance? Comment, condamnés à ignorer éternellement la cause de ces actes grossiers, pourrions-nous espérer de connaître la cause de la pensée? Laissons donc là les causes, et occupons-nous des phénomènes.

On en a, depuis longtemps, distingué de deux ordres : les phénomènes *instinctifs*, les phénomènes *intellectuels*.

Les premiers portent au plus haut degré le caractère de la fatalité. Sans doute ils sont utiles à l'animal qui les exécute, pour la conservation de sa vie ou de sa descendance, mais souvent il n'en sait et n'en peut rien savoir. C'est ainsi que certaines femelles d'insectes prennent, au commencement de la saison froide, mille précautions pour assurer la conservation de leurs œufs pendant l'hiver, et la nourriture de la larve qui en naîtra : or, ces femelles, nées au printemps, vont mourir à l'automne, sans avoir vu ni leurs mères ni leur progéniture, et ne peuvent par conséquent comprendre toute la portée de leur acte. Parfois même l'animal exécute les actes instinctifs alors qu'ils ne lui servent à rien. C'est ainsi qu'un castor captif recueillait et disposait des matériaux pour un ouvrage sans raison d'être.

Souvent, ces faits instinctifs sont très-complexes, et si on les rapportait à l'intelligence, ils supposeraient, comme l'a justement remarqué Descartes, des qualités supérieures que l'animal traduirait de quelque autre façon. N'est-il pas évident que si les abeilles devaient à l'intelligence, au calcul, la disposition de leurs cellules et de leurs rayons, elles auraient depuis longtemps inventé toute la géométrie? Enfin, et c'est peut-être là le caractère le plus catégorique des faits instinctifs, ils se manifestent régulièrement, uniformément, toujours semblables à eux-mêmes pour les animaux d'une même espèce, et sans que ces animaux aient pu les apprendre d'animaux semblables à eux, fût-ce même par imitation. Si l'on enlève des œufs d'oiseaux et qu'on les fasse couver artificiellement, il en naît des petits, qui, plus tard, construisent des nids exactement semblables à ceux où ils auraient dû éclore.

Dans cet ordre de faits, point de perfectionnements, et les fourmis dont on vous racontait à cette place, il y a quinze jours, les charmantes histoires (1), s'en vont en guerre depuis des siècles sans rien changer à leur tactique. En se reportant à l'origine de semblables actes, on ne peut s'empêcher de penser à ces habitudes que la répétition des mêmes gestes font naître dans le corps, par action constamment simultanée entre différentes parties de la moelle épinière. Et, du reste, il existe en zoologie des faits nombreux qui démontrent que des habitudes acquises peuvent devenir héréditaires, et donner naissance à des instincts nouveaux ; je citerai notamment le chien d'arrêt.

Mais à côté de ces actes uniformes, complexes et fatals en quelque façon, nous constatons chez les animaux des actes libres, qui supposent l'observation, la réflexion, le jugement, toutes les qualités fondamentales de l'intelligence, et qui, au contraire des actes instinctifs, peuvent être et sont fréquemment entachés d'erreur. Nous distinguons aussi des facultés affectives, et personne ne le niera, de ceux qui ont été aimés par un chien. La démonstration de l'intelligence chez les animaux est non moins évidente : chacun en connaît mille exemples.

Ainsi l'animal possède intelligence et instinct; deux impulsions dirigent ses actions volontaires, l'une fatale, l'autre libre ; mais chez lui l'instinct domine, et l'intelligence qui est à son service n'intervient guère que pour adapter aux circonstances du moment les volontés inflexibles de l'instinct.

Chez l'homme aussi, dont il faut bien nous occuper un instant en terminant cette étude, chez l'homme aussi nous constatons l'instinct à côté de l'intelligence; mais celle-ci, d'esclave est devenue maîtresse. Elle commande, et si bien, que parfois l'autre ne peut plus se faire écouter. L'intelligence humaine, à son développement le plus énergique, fait taire non-seulement les tendances instinctives, mais les passions, mais les besoins.

L'intelligence humaine, comme celle de l'animal, constate, juge, conclut, prévoit. Mais tandis que l'intelligence de l'animal est consacrée à satisfaire ses besoins, à pourvoir à l'existence du corps, celle de l'homme, échappant à la *fatalité du ventre* (Michelet), plane dans des sphères idéales ; l'animal observe pour profiter, l'homme observe pour comprendre ; il établit des rapports, découvre des lois ; il a l'*idée de ses idées*. On ne peut, en vérité, sans être ému, considérer une telle grandeur. Seul, l'homme trouve dans ses jugements et ses prévisions les condi-

(1) Voy. la conférence de M. Lespès, *Revue des cours scientifiques*, troisième année, n° 16, p. 257.

Google

tions d'une amélioration incessante; seul il tend au progrès par les triples voies du vrai, du beau, du bien.

Seule, l'intelligence humaine se cherche, comme l'a dit saint Augustin, et se cherchant elle se connaît; seule elle s'inquiète de son avenir, s'effraye de la destruction, se demande si tout est fini pour elle quand ses instruments sont devenus immobiles, et, par une protestation sublime, affirme son immortalité.

Seule, elle attache à ses pensées des signes abstraits, et par le geste, la parole, l'écriture, le dessin, les transmet, les éternise, les rend maîtresses de l'espace et du temps.

Seule enfin, elle s'inquiète de la raison des choses; s'élevant sans crainte, sinon sans émotion, à la recherches des causes, elle aborde le redoutable problème des origines, et arrive à envisager une cause première qu'elle personnifie, et à laquelle elle ose donner un nom.

Ces qualités puissantes et sublimes creusent-elles entre l'animal et l'homme un abîme que rien ne peut combler? Le système nerveux de l'un donne-t-il asile à quelque puissance suprême qui jamais n'habite le système nerveux de l'autre? C'est là une question que j'ai dû indiquer, car elle est une dépendance de l'étude du système nerveux, mais dont je n'ai pas la prétention de vous donner une solution quelconque. Tout au plus me permettrai-je de vous faire remarquer, comme naturaliste, que le mot animal dont on se sert d'habitude est un terme de comparaison vague, et dont la valeur varie singulièrement, car si la distance est immense entre l'homme et le chien, animal supérieur, immense elle est aussi entre le chien et le ver de terre ou quelque autre représentant plus infime encore du règne auquel appartient la volonté; je dirai encore que, pour la partie la plus importante du problème, les conditions de l'observation complète nous manquent: car l'homme, par son action destructive propre, tend sans cesse, et depuis des milliers de siècles, à supprimer les races animales les plus élevées, les races humaines les plus inférieures, à détruire les intermédiaires, s'il en a jamais existé.

Ceci dit, je m'arrêterai; saint Augustin, dont j'aime à citer les paroles profondes, a dit avec sa grandeur habituelle : « Il faut mettre à part ce que nous savons de ce que nous sentons. » Or, ici finit le domaine de la science positive que j'ai eu à cœur de représenter seule devant vous, de la science qui peut prouver tout ce qu'elle avance, et qui, comme Antée, n'est forte qu'à la condition de ne point quitter la terre; ici commencent les vastes et mystérieux territoires des hypothèses sur lesquels le sentiment règne en souverain. Je n'ai garde d'aller le troubler dans le juste exercice de sa royauté suprême. Il me souvient, dans les solitudes silencieuses du Sahara, d'avoir parfois tendu l'oreille pour recueillir quelque bruit venant de la France, et de ceux que j'aimais. Un physicien eût été mal reçu à me dire que j'écoutais en vain, que ma patrie était trop loin. S'il en est ainsi pour des vérités physiques incontestables, qu'est-ce donc pour de simples opinions où l'appréciation personnelle, l'impression sentimentale, remplacent la démonstration?

Je sais que beaucoup de personnes blâmeront mes paroles, les trouvant les unes trop hardies, les autres timides à l'excès; je m'effraye peu de ces critiques, attendant que celui qui sait de science certaine ce qu'est la matière et ce qu'est l'esprit me jette la première pierre, et l'attendant, permettez-moi de le dire, sans nulle crainte d'être ainsi lapidé.

Nous sommes arrivés au terme de notre course. Nous avons successivement étudié dans le système nerveux les éléments et les appareils, les propriétés et les fonctions, les actions réflexes et les actions directes, ce qui est communiqué et ce qui est spontané. Je considérerai mon rôle comme rempli, et je m'estimerai heureux si vous emportez, en sortant de cette enceinte, une idée nette de ce merveilleux ensemble d'organes toujours en action, toujours vibrant, sans cesse réagissant sur lui-même et sur les serviteurs organiques chargés de le nourrir, et qui, pour emprunter la parole d'Aristote, constitue, à vrai dire, l'animal tout entier.

PAUL BERT,
Professeur à la Faculté des sciences de Bordeaux.

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS.

PHYSIQUE MÉDICALE.

COURS DE M. GAVARRET (*).

Des images par réflexion et par réfraction.

DES LENTILLES PLACÉES DANS L'AIR.

39. On donne le nom de lentille à tout bloc de substance réfringente terminé par deux surfaces dont une au moins est courbe. — Nous appellerons n l'indice de réfraction de la substance transparente plus réfringente que l'air dont la lentille est composée; les rayons incidents et les rayons émergents de la lentille se meuvent dans l'air.

Lorsque le faisceau incident est *homocentrique*, les rayons réfractés par la première surface concourent tous vers un même point *réel* ou *virtuel*, qui joue le rôle de point lumineux *réel* ou *virtuel* pour la seconde surface dont l'action sur ces rayons déjà réfractés par la première les fait nécessairement tous concourir en un même point *réel* ou *virtuel*.—Tout faisceau incident *homocentrique* est donc transformé par la lentille en un faisceau émergent *homocentrique*. — Le point de concours des rayons émergents est le foyer *réel* ou *virtuel* du *point lumineux*, c'est-à-dire du point de croisement *réel* ou *virtuel* des rayons incidents.

La forme de la lentille dépend des positions relatives des deux surfaces sphériques ou de la surface sphérique et de la

(*) Voy. les nos 26, 27 et 28, et d'autres leçons de M. Gavarret sur *la climatologie* dans les nos 7, 8, 10, 12 et 15.

Google

surface plane qui la terminent; il en existe six espèces qui se divisent en deux groupes distincts (fig. 205).

Le premier groupe comprend trois espèces de lentilles : A, la lentille *biconvexe;* B, la lentille *plan-convexe;* C, le *ménisque convergent*, dans lequel le rayon de courbure de la surface concave est plus grand que celui de la surface convexe.

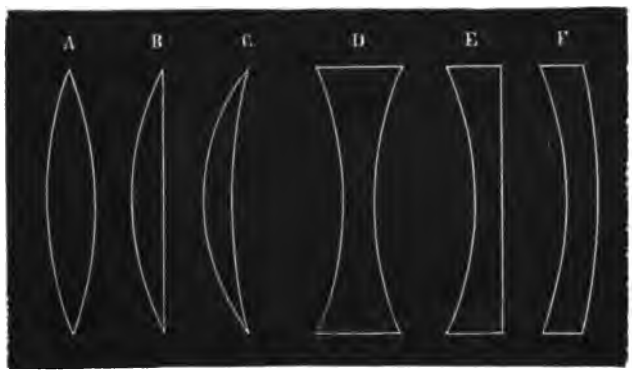


Fig. 205.

— Ces trois lentilles sont toutes plus épaisses au centre qu'aux bords; on les appelle lentilles à bords tranchants.

Le second groupe comprend aussi trois espèces : D, la lentille *biconcave;* E, la lentille *plan-concave;* F, le *ménisque divergent*, dans lequel le rayon de courbure de la face concave est plus petit que celui de la face convexe. — Ces trois lentilles sont plus minces au centre qu'à la périphérie; on les appelle lentilles à bords mousses.

Nous démontrerons plus loin que les trois lentilles du premier groupe ont leurs foyers principaux *réels;* ce sont des lentilles *convergentes.* — Les trois lentilles du second groupe sont *divergentes;* leurs foyers principaux sont *virtuels.*

Lorsqu'une lentille est placée dans l'air, les deux points *nodaux* se confondent avec les deux points *principaux.* Nous n'aurons donc à déterminer que quatre points *cardinaux :* les deux *foyers principaux* et les deux *points nodaux.* — Les plans à considérer sont au nombre de quatre : les deux *plans focaux* et les deux *plans principaux;* ces derniers passent nécessairement par les *points nodaux* qui se superposent aux *points principaux.*

LENTILLE BICONVEXE.

40. Soient : MN (fig. 206) une lentille biconvexe, C, C′ les

Fig. 206.

centres de courbure de sa première et de sa seconde face MAN, MA′N; la droite indéfinie XX′, qui passe par les deux centres de courbure C, C′, est l'axe principal du système; les points A, A′, où cet axe perce les deux faces de la lentille sont leurs sommets, pôles ou centres de figure. — Nous désignerons toujours par les lettres r, r' les rayons de courbure CA, C′A′; ces rayons peuvent être égaux ou inégaux.

Il est évident que tout rayon incident qui arrive suivant XA est normal à la première surface réfringente, pénètre dans la lentille suivant AA′, est normal à la seconde surface et émerge de l'appareil suivant A′X′ sans avoir éprouvé aucune modification dans sa marche.

Nous supposerons que la lumière pénètre dans la lentille par la face A et en émerge par la face A′. — Les foyers principaux de la première face convexe A sont nécessairement *réels*, puisque la lumière la traverse en passant de l'air dans un milieu plus réfringent; les distances focales, que nous désignerons par les lettres f_0, f'_0, sont nécessairement *positives.* — La lumière traverse la seconde face concave A′ en passant du milieu le plus réfringent dans l'air; les foyers principaux sont donc *réels* et les distances focales, que nous désignerons par les lettres f_1, f'_1, sont *positives.*

Pour la première face A, nous avons (25) formules (1) et (2) :

1re distance focale : $f_0 = \frac{r}{n-1}$

2e distance focale : $f'_0 = \frac{nr}{n-1}$

Pour la seconde face A′, nous avons (30) formules (1) et (2) :

1re distance focale : $f_1 = \frac{nr'}{n-1}$

2e distance focale : $f'_1 = \frac{r'}{n-1}$

Entre la seconde distance focale f'_0 de la première face A et la première distance focale f_1 de la seconde face A′, il existe donc la relation suivante :

$$(d) \qquad \frac{f'_0}{f_1} = \frac{nr}{n-1} : \frac{nr'}{n-1} = \frac{r}{r'}$$

41. *Centre optique. — Points nodaux. — Points et plans principaux.* — Par les centres de courbure C, C′ (fig. 206) menons les deux rayons parallèles CI, C′I′; la droite II′ coupe l'axe principal dans l'intérieur de la lentille en un point O, qui jouit de propriétés spéciales et qui s'appelle *centre optique.*

Les plans tangents aux surfaces réfringentes en I, I′ sont nécessairement parallèles, puisqu'ils sont perpendiculaires aux droites parallèles CI, C′I′. — Si donc le rayon incident SI rencontre la première face A dans une direction telle qu'il pénètre suivant II′, le rayon émergent correspondant I′R est parallèle au rayon incident SI, car évidemment, dans ce cas, la lumière a traversé en réalité un milieu transparent terminé par deux faces parallèles.

Puisque CI, C′I′ sont parallèles, les triangles CIO, C′I′O sont équiangles et semblables; nous avons donc :

$$\frac{CI}{CO} = \frac{C'I'}{C'O}$$

d'où

$$\frac{CI - CO}{CI} = \frac{C'I' - C'O}{C'I'}$$

Mais $CI = CA = r$ et $C'I' = C'A' = r'$.
Donc $CI - CO = AO$ et $C'I' - C'O = A'O$.

Digitized by Google

d'où en remplaçant :

$$\frac{AO}{A'O}=\frac{CA}{C'A'}=\frac{r}{r'}$$

Le point O se trouve ainsi déterminé indépendamment de toute hypothèse sur l'inclinaison des rayons de courbure CI, C'I' sur l'axe principal, sa position est donc la même pour tout autre couple de rayons de courbure parallèles entre eux.

Donc tout rayon incident réfracté par la première face de la lentille de manière à passer par le centre optique O, émerge de l'appareil parallèlement à sa direction primitive.

Prolongeons le rayon incident SI et le rayon émergent I'R jusqu'à la rencontre de l'axe principal en K, K'. — Puisque le rayon incident SK pénètre suivant IO, les points K et O sont foyers conjugués par rapport à la première face A de la lentille. — D'autre part, le rayon intérieur IOI' émerge suivant K'R, donc O et K' sont foyers conjugués par rapport à la seconde face A'.— En d'autres termes, les points K, K' sont les images du centre optique O regardé successivement à travers la face A et la face A' de la lentille.— La position des points K, K' ne dépend donc que de celle du centre optique O; tout rayon incident dont le prolongement passe par K pénètre donc suivant une droite qui passe par O et émerge nécessairement de la lentille suivant une ligne menée par K' parallèlement au rayon incident.—Les points K, K' sont donc les *points nodaux* de la lentille; ils sont situés tous les deux dans l'intérieur de l'appareil.

Le point K par lequel doit passer le prolongement du rayon incident pour que le rayon émergent lui soit parallèle est le *premier point nodal;* le point K' par lequel passe le prolongement du rayon émergent parallèle au rayon incident est le *second point nodal.*

La position du centre optique O est telle que:

$$\frac{AO}{A'O}=\frac{r}{r'}$$

Mais nous avons (40) d'après l'équation (*d*) :

$$\frac{f'_0}{f_1}=\frac{r}{r'}$$

Il résulte de ces deux équations que les distances AO, A'O du centre optique O aux sommets A, A' des sommets de la lentille satisfont à la relation suivante :

$$\frac{AO}{A'O}=\frac{f'_0}{f_1}$$

42. Cette nouvelle relation permet de déterminer géométriquement les positions du *centre optique* O, des *points nodaux* K, K' et des *points principaux* de la lentille.

En effet, soient : *a*, *a'* le premier et le second foyer principal de la première face A de la lentille MN (fig. 207), *b*, *b'* le premier et le second foyer principal de la seconde face A' de la lentille.

Nous aurons pour la première face A :

1re distance focale : $Aa=f_0=\frac{r}{n-1}$

2e distance focale : $Aa'=f'_0=\frac{nr}{n-1}$

Pour la seconde face A' :

1re distance focale : $A'b=f_1=\frac{nr'}{n-1}$

2e distance focale : $A'b'=f'_1=\frac{r'}{n-1}$

Cela posé, menons une droite LL' parallèle à l'axe principal; elle perce les deux faces de la lentille en I, I'. En raison de leur très-faible amplitude, ces faces se confondent sensiblement avec les plans perpendiculaires à l'axe principal en A et A', par suite les arcs AI, A'I' peuvent être considérés comme des perpendiculaires à l'axe principal et AI = A'I'.

Si LI est un rayon incident, la face A le réfracte suivant I*a'*, qui passe par son second foyer principal *a'*. — Si L'I' est un rayon incident, la face A' le réfracte suivant I'*b*, qui passe par son premier foyer principal *b*. — Du point S, où se coupent ces deux rayons réfractés, abaissons la perpendiculaire SO sur l'axe principal; O est le centre optique de la lentille. En effet :

Les deux triangles rectangles *a'*IA, *a'*SO sont semblables et donnent :

$$\frac{AI}{SO}=\frac{Aa'}{Oa'}$$

D'autre part, les deux triangles rectangles *b*I'A', *b*SO sont semblables et donnent :

$$\frac{A'I'}{SO}=\frac{A'b}{Ob}$$

d'où, puisque AI = A'I', on tire :

$$\frac{Aa'}{Oa'}=\frac{A'b}{Ob}$$

d'où

$$\frac{Aa'-Oa'}{Aa'}=\frac{A'b-Ob}{A'b}$$

ou enfin :

$$\frac{AO}{A'O}=\frac{Aa'}{A'b}$$

Le point O ainsi déterminé est donc le *centre optique* de la lentille.

43. Considérons la perpendiculaire SO comme un objet lumineux.—Le point S rayonne vers la face A; un des rayons incidents, SI prolongé, passe par le foyer principal *a'* et émerge suivant IL parallèle à l'axe principal; un autre rayon incident SV, parallèle à l'axe principal, émerge suivant V*a* qui passe par le foyer principal *a*. L'image de S est donc en D au point d'entrecroisement des prolongements de ces deux rayons émergents; DK est l'image de SO regardé à travers la face A de la lentille; le pied K de la perpendiculaire DK est l'image de O, et, par suite, le *premier point nodal* de la lentille.

Le point S rayonne aussi vers la face A'; les rayons incidents SI' qui, prolongé, passe par le foyer principal *b*, et SV' parallèle à l'axe principal, émergent suivant I'L' parallèle à l'axe principal, et V'*b'* qui passe par le foyer principal *b'*. L'image de S est donc en D' au point d'entrecroisement des prolongements de ces deux rayons émergents ; D'K' est l'image de SO regardé à travers la face A' de la lentille; le pied K' de la perpendiculaire D'K' est l'image de O et, par suite, le *second point nodal* de la lentille.

Mais, par construction, les points I, D, D', I' sont sur une même parallèle LL' à l'axe principal, par conséquent nous avons : AI = KD = K'D' = A'I'. Il suit de là que les images KD, K'D' de SO, regardé successivement à travers les faces A, A' de la lentille, sont du même côté de l'axe principal et de même hauteur. Tous les rayons incidents qui, prolongés, passent par le point D de la perpendiculaire DK sont donc réfractés par la face A, de manière à passer par le point S, rencontrent la face A' comme s'ils émanaient de S et émergent de la lentille suivant des lignes qui passent par le point D' de la perpendicu-

Digitized by Google

laire D'K'. Les prolongements de ces rayons incidents et des rayons émergents correspondants rencontrent donc les perpendiculaires DK, D'K' du même côté et à égale distance de l'axe principal. — Cette dernière relation existe évidemment entre deux points quelconques pris sur les perpendiculaires DK, D'K' du même côté et à la même distance de l'axe principal. — En raison de la parfaite symétrie des surfaces sphériques, les plans perpendiculaires à l'axe principal menés par K et K' sont nécessairement percés du même côté et à la même distance de l'axe principal par les prolongements d'un rayon incident quelconque et du rayon émergent correspondant.

Les plans perpendiculaires à l'axe principal menés par K et K' sont donc les deux *plans principaux*, et les points K, K' sont à la fois les *points nodaux* et les *points principaux* de la lentille.

44. Dans le cas de la lentille biconvexe, le *centre optique* O et les deux *points nodaux* K, K' sont donc situés dans l'intérieur de la lentille. Il nous reste à calculer leurs distances aux sommets A, A' des deux faces de la lentille.

D'autre part, les triangles rectangles semblables a'AI, a'OS donnent :

$$\frac{AI}{SO}=\frac{Aa'}{Oa'}=\frac{Aa'}{Aa'-AO}=\frac{f'_0}{f'_0-AO}$$

Les premiers membres de ces deux équations sont identiques, les seconds membres sont donc égaux et

$$\frac{f_0+AK}{f_0}=\frac{f'_0}{f'_0-AO}$$

Ce qui donne en remplaçant Ao par sa valeur $\frac{ef'_0}{f'_0+f_1}$:

$$\frac{f_0+AK}{f_0}=\frac{f'_0}{f'_0-\frac{ef'_0}{f'_0+f_1}}.$$

d'où l'on tire facilement :

$$AK=\frac{ef_0}{f'_0+f-e}$$

Pour déterminer la position du *second point nodal* K' nous avons (fig. 207) les deux triangles rectangles semblables b'D'K', b'V'A' et les triangles rectangles semblables bA'I', bOS. En leur

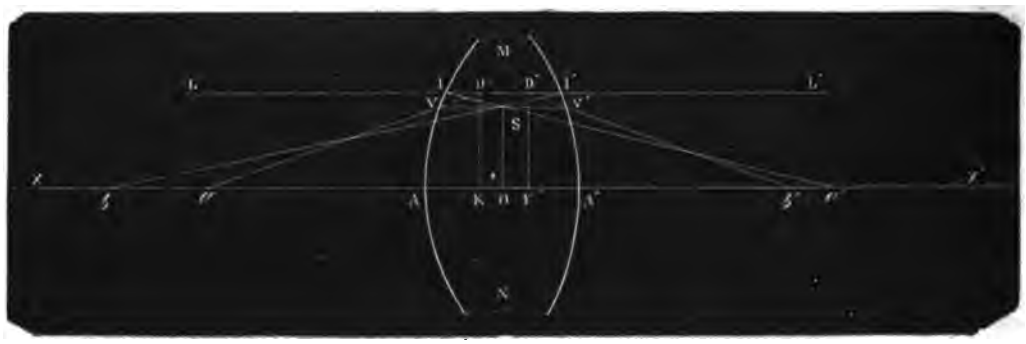


Fig. 207.

Désignons par la lettre e l'épaisseur AA' de la lentille ; nous avons, d'après les conventions précédemment adoptées (42) :

$$AA'=e$$
$$Aa=f_0 \qquad A'b=f_1$$
$$Aa'=f'_0 \qquad A'b'=f'_1$$

Pour ce qui regarde le *centre optique* O, nous avons (fig. 207) :

$$AO+A'O=AA'=e$$

et, d'après la relation précédemment démontrée :

$$\frac{AO}{A'O}=\frac{Aa'}{A'b}=\frac{f'_0}{f_1}$$

De ces deux équations on tire facilement :

$$AO=\frac{ef'_0}{f'_0+f_1} \qquad A'O=\frac{ef_1}{f'_0+f_1}$$

Ces deux relations font connaître les distances du centre optique O aux sommets A, A' des faces de la lentille, lorsqu'on connaît les distances focales de ces faces, c'est-à-dire leurs rayons de courbure et l'indice de réfraction de la lentille elle-même.

Pour déterminer la position du *premier point nodal* K, nous avons (fig. 207) deux triangles rectangles semblables aDK, aVA, qui donnent :

$$\frac{DK}{AV}=\frac{aK}{Aa}$$

Mais DK = AI et AV = SO comme parallèles comprises entre parallèles, de plus aK = Aa + AK, donc en substituant :

$$\frac{AI}{SO}=\frac{Aa+AK}{Aa}=\frac{f_0+AK}{f_0}$$

appliquant les raisonnements précédents, nous trouvons :

$$A'K'=\frac{ef'_1}{f'_0+f_1-e}$$

Les positions des *points nodaux* K, K' de la lentille sont donc déterminées par les relations suivantes :

1er point nodal K : $AK=\frac{ef_0}{f'_0+f_1-e}$

2e point nodal K' : $A'K'=\frac{ef'_1}{f'_0+f_1-e}$

Pour le *centre optique* O et pour les *points nodaux* K, K', les distances sont toujours comptées à partir des sommets A, A' des faces de la lentille. — Quand le sommet A est le point de départ, on convient de compter les distances *positivement à droite* de A, *négativement à gauche* de A. — Pour le point A', les distances sont comptées *positivement à gauche* de A', *négativement à droite* de A'. — Dans le cas actuel, toutes les longueurs sont *positives*.

A tout faisceau incident *homocentrique* correspond un faisceau émergent *homocentrique;* d'autre part, à tout rayon incident qui, prolongé, passe par le *premier point nodal* K correspond un rayon émergent parallèle dont le prolongement passe par le *second point nodal* K'. Il en résulte que les droites qui joignent un point lumineux au premier point nodal K et son foyer au second point nodal K' sont parallèles : ces lignes parallèles s'appellent *lignes de direction*.

45. *Foyers principaux. — Distances focales.* — Connaissant la position sur l'axe principal des deux points nodaux K, K'

Digitized by Google

de la lentille et sachant que les deux *plans principaux* passent par les points K, K′, il est facile de déterminer géométriquement la position de ses deux foyers principaux F, F′.

Soient : a' (fig. 208) le second foyer principal de la première face A de la lentille et SI, un rayon incident quelconque parallèle à l'axe principal. Ce rayon incident SI est réfracté par la face A suivant Ia' et rencontre la seconde face A′ en I′; le point I′ appartient au rayon émergent de la lentille. —Mais puisque les plans perpendiculaires à l'axe principal menés par K et K′ sont les plans principaux de la lentille, si nous prolongeons le rayon incident jusqu'au point D, où il perce le premier plan principal, et si, par le point D, nous menons la droite DD′ parallèle à l'axe principal, le point D′,

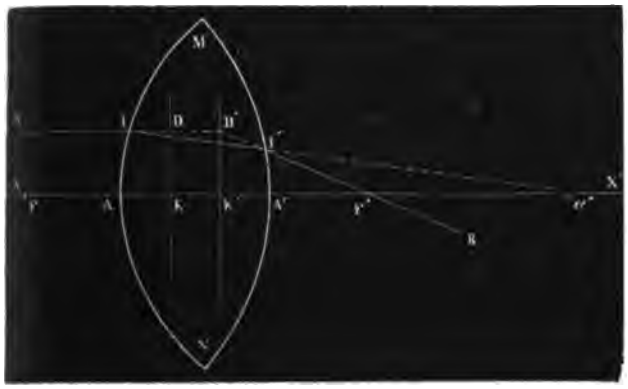


Fig. 208.

où cette droite perce le second plan principal, appartient nécessairement à la direction du rayon émergent.—Au rayon incident SI correspond donc un rayon émergent D′I′R déterminé de position par les points D′, I′ qui sont sur sa direction ; ce rayon émergent coupe l'axe principal en F′.

Ce point F′ ainsi géométriquement déterminé est le point de concours de tous les rayons émergents correspondants à des rayons incidents parallèles à l'axe principal. C'est le *second foyer principal* de la lentille, et ce foyer est *réel*.

Une construction semblable servirait à déterminer le *premier foyer principal* F de la lentille.

Dans le cas actuel, les points principaux étant confondus avec les points nodaux, les *distances focales* de la lentille sont KF et K′F′.

Les triangles rectangles semblables a'AI, a'A′I′ donnent :

$$\frac{Aa'}{A'a'}=\frac{AI}{A'I'}$$

D'autre part, les triangles rectangles semblables F′K′D′, F′A′I′ donnent :

$$\frac{K'F'}{A'F'}=\frac{K'D'}{A'I'}$$

Mais nécessairement AI = K′D′, puisque le rayon incident SI est parallèle à l'axe principal ; les seconds membres de ces deux équations sont donc identiques, et l'on obtient, en égalant leurs premiers membres :

$$\frac{K'F'}{A'F'}=\frac{Aa'}{A'a'}$$

Or, A′F′ = K′F′ — A′K′ et A′a' = Aa' — AA′ = Aa' — e; ce qui donne, en substituant :

$$\frac{K'F'}{K'F'-A'K'}=\frac{Aa'}{Aa'-e}=\frac{f'_0}{f'_0-e}$$

En remplaçant A′K′ par sa valeur, cette équation devient :

$$\frac{K'F'}{K'F'-\dfrac{ef'_1}{f'_0+f_1-e}}=\frac{f'_0}{f'_0-e}$$

D'où l'on tire, pour la valeur de la *seconde distance* focale K′F′ de la lentille :

$$K'F'=\frac{f'_0f'_1}{f'_0+f_1-e}$$

Une construction analogue et les mêmes raisonnements donneraient, pour la valeur de la *première distance focale* KF de la lentille :

$$KF=\frac{f_0f_1}{f'_0+f_1-e}$$

Mais il résulte des valeurs des distances focales f_0, f'_0, f_1, f'_1 (40) que $f_0f_1=f'_0f'_1$. Par conséquent, les deux distances focales KF, K′F′ sont égales ; si nous les désignons sur la lettre φ, nous aurons :

$$\varphi=KF=K'F'=\frac{f'_0f'_1}{f'_0+f_1-e}=\frac{f_0f_1}{f'_0+f_1-e}$$

Comme cela devrait être, puisque les foyers principaux sont *réels*, ces distances focales sont *positives;* KF doit être porté à *gauche* du point K du côté de la lumière incidente, K′F′ à *droite* du point K′, du côté de la lumière émergente.

46. En résumé, les éléments fondamentaux de la lentille biconvexe sont :

1° Pour le centre optique O :

$$(1)\qquad \begin{cases} AO=\dfrac{ef'_0}{f'_0+f_1} \\ A'O=\dfrac{ef_1}{f'_0+f_1} \end{cases}$$

2° Pour les points nodaux K, K′, qui sont en même temps les points principaux :

$$(2)\qquad \begin{cases} AK=\dfrac{ef_0}{f'_0+f_1-e} \\ A'K'=\dfrac{ef'_1}{f'_0+f_1-e} \end{cases}$$

3° Pour la valeur commune des distances focales :

$$(3)\qquad \varphi=KF=K'F'=\frac{f_0f_1}{f'_0+f_1-e}$$

Toutes ces longueurs sont positives; ce qui indique que le centre optique O et les deux points nodaux sont situés dans l'intérieur de la lentille, et que les foyers principaux F, F′ sont réels.

47. *Plans focaux.* — Les plans focaux de la lentille sont (fig. 209) les plans perpendiculaires à l'axe principal menés par les foyers principaux F, F′; ils jouissent des mêmes propriétés que ceux d'une simple surface réfringente. En effet :

1° Soit H un point lumineux situé sur le premier plan focal F. Le rayon incident HI, parallèle à l'axe principal prolongé dans l'intérieur de la lentille, perce les plans principaux en D, D′. Le point D′ et le second foyer principal F′ sont sur la direction du rayon émergent correspondant I′R. Mais le rayon incident HK, dont le prolongement passe par le premier point nodal K, émerge suivant K′R′, parallèle à HK et le foyer de H est nécessairement sur la ligne de direction K′R′. Le foyer du point H est donc au point de rencontre des deux rayons émergents I′R, K′R′. Par construction KF = K′F′ et HF = K′D′,

Digitized by Google

donc les triangles rectangles KFH, F'K'D' sont égaux. D'R est donc parallèle à HK et, par suite, à K'R'. Le foyer du point H, qui est le point de croisement de D'R et de K'R' est donc à *l'infini*; en d'autres termes :

Quand un point lumineux H est situé sur le premier plan

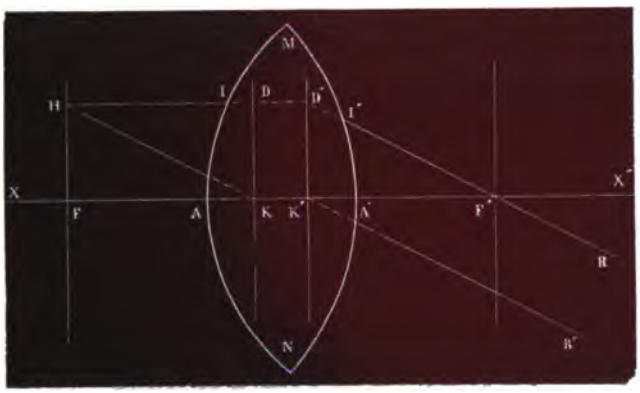


Fig. 209.

focal F, les rayons émergents sont tous parallèles entre eux et à la ligne de direction qui joint le point lumineux H au premier point nodal K. — Dans le cas particulier où H est au premier foyer principal F, les rayons émergents sont parallèles à l'axe principal.

2° Soit SI (fig. 210) un rayon incident quelconque. Par le point D, où son prolongement perce le premier plan principal, menons une parallèle à l'axe principal qui perce le second plan principal en D'; ce point D' appartient à la direction du rayon émergent. Mais le rayon incident SI peut être considéré comme

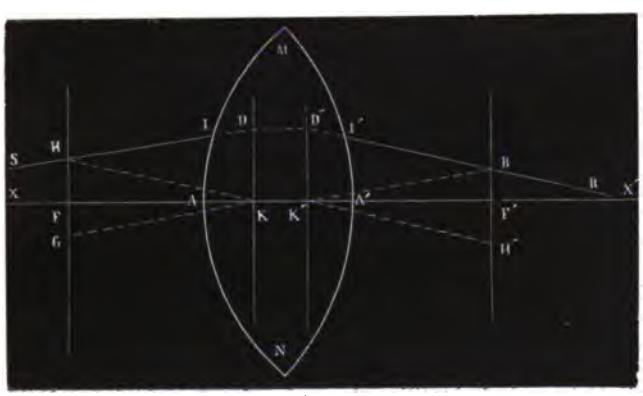


Fig. 210.

émané d'un point lumineux placé au point H où il perce le premier plan focal; le rayon émergent I'R est donc parallèle aux lignes de direction HK, K'H' et son prolongement passe par D'. — La droite K'B, qui joint le second point nodal au point B où le rayon émergent perce le second plan focal, est parallèle au rayon incident SI. En effet, menons la droite GK parallèle à SI. GH = KD comme parallèles comprises entre parallèles, et, par la même raison, BH' = K'D', donc GH = BH'. Mais les lignes de direction HK, K'H' sont parallèles, et KF = K'F', donc les triangles KFH, K'F'H' sont égaux et FH = F'H'. Il résulte nécessairement de cette dernière égalité que FG = F'B. Dès lors les triangles rectangles K'BF', KGF sont égaux, donc K'B est parallèle à GK et, par conséquent, au rayon incident SI. — Cette construction est indépendante de la distance du point d'incidence I à l'axe principal; tous les rayons incidents parallèles à SI émergent dans la lentille suivant des droites qui se croisent au point B.

Donc le foyer de tout faisceau des rayons incidents parallèles entre eux est sur le second plan focal au point B où ce plan est percé par la ligne de direction parallèle aux rayons incidents, menée par le second point nodal K'. — Dans le cas particulier où les rayons incidents sont parallèles à l'axe principal, leur foyer est au second foyer principal F'.

Il résulte de ces deux propriétés des plans focaux que les directions d'un rayon incident quelconque SI et de son rayon émergent correspondant I'R satisfont aux deux conditions suivantes : — Le rayon émergent est parallèle à la ligne de direction HK, qui joint le point H où le rayon incident perce le premier plan focal au premier point nodal K; — ce rayon émergent passe par le point B où le second plan focal est percé par la ligne de direction K'B menée par le second point nodal K' parallèlement au rayon incident SI. — Étant donné un rayon incident quelconque, il est donc toujours facile de construire géométriquement le rayon émergent correspondant.

GAVARRET.

BULLETIN DES COURS.

Muséum d'histoire naturelle.

ZOOLOGIE (MAMMIFÈRES ET OISEAUX). — M. MILNE EDWARDS (de l'Institut), professeur, a ouvert ce cours le samedi 12 mai 1866, à midi et demi, dans les galeries de zoologie, et le continue les mardis, jeudis et samedis suivants, à la même heure. Le professeur traite de l'histoire particulière des oiseaux et des mammifères; il s'occupera principalement des espèces les plus utiles ou les plus remarquables. Il fera aussi pour MM. les étudiants quelques leçons complémentaires qui seront annoncées par des affiches spéciales, et qui auront lieu les mercredis et vendredis.

BOTANIQUE ET PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — M. ADOLPHE BRONGNIART (de l'Institut), professeur. — En son absence, M. ARTHUR GRIS, docteur ès sciences, aide-naturaliste au Muséum, a commencé ce cours le mercredi 2 mai 1866, à neuf heures du matin, et le continue, à la même heure, les lundi, mercredi et vendredi de chaque semaine. Le cours de cette année a pour objet l'anatomie, la physiologie et l'organographie générale des végétaux.

PHYSIOLOGIE COMPARÉE. — M. FLOURENS (de l'Institut), secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, professeur. — M. VULPIAN, agrégé de la Faculté de médecine de Paris, suppléant, a commencé ce cours le mardi 5 juin, à onze heures et demie, et le continuera les mardis, jeudis et samedis suivants, à la même heure, dans l'amphithéâtre de la galerie de géologie. La physiologie comparée de la digestion fait l'objet spécial du cours de cette année.

Nous avons le regret d'annoncer à nos lecteurs la mort de M. Verdet, professeur de physique à l'École polytechnique, maître de conférence à l'École normale, professeur suppléant à la Sorbonne, et de M. Deschamps (d'Avallon), auteur de plusieurs ouvrages de chimie estimés. Quoique mort dans la force de l'âge, M. Verdet avait déjà rendu de grands services à la science, et c'est en partie à ses efforts qu'est due l'introduction en France de la théorie mécanique de la chaleur.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE NUMÉRO 31 30 JUIN 1866

ASSOCIATION POLYTECHNIQUE.

CONFÉRENCES DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS.

M. BARRAL.

Situation actuelle de l'agriculture en France.

Mesdames, Messieurs,

Le sujet dont je viens vous entretenir sort évidemment du cercle ordinaire des préoccupations de ceux qui vivent dans les grandes capitales; peut-être des questions relatives à des objets que vous voyez journellement autour de vous eussent-elles captivé davantage votre attention. Mais, ce qui se passe dans les campagnes, au sein de l'agriculture, doit également captiver l'attention des habitants des villes, car aujourd'hui tous les intérêts sont solidaires, et d'ailleurs chacun de vous a plus ou moins une famille résidant dans quelque village ou hameau, et s'y livrant aux travaux ruraux. Or, certes, quelque entraînés que vous soyez par le mouvement des affaires, vous vous reprenez de temps en temps à laisser errer vos pensées vers ceux qui sont loin de vous, vers des travaux que vous avez vus peut-être dans votre enfance, qui vous étaient familiers, au milieu desquels vous avez vécu les joyeuses années de votre premier âge. Alors, vos souvenirs se reportant vers ceux qui travaillent la terre, il vous vient certainement le désir d'apprendre si le bonheur est le compagnon de ces amis éloignés, et un regard vers les campagnes a pour vous, je n'en doute pas, quelque chose d'attrayant.

Si donc on vient vous dire que les campagnes souffrent, que la misère y augmente ou est près d'y augmenter, chacun de vous trouvera certainement qu'il faut savoir tout de suite ce qu'il y a de vrai dans ces assertions; chacun de vous voudra rechercher si, la souffrance étant réelle, il n'y a pas moyen d'y porter remède.

Vous le savez, messieurs, une grande enquête vient de s'ouvrir pour étudier la véritable situation de l'agriculture française, pour déterminer quelles sont ses souffrances et en découvrir les causes, pour chercher enfin les moyens de lui procurer une prospérité continuelle.

Je viens devant vous étudier ces questions à l'origine même de l'enquête, et, par conséquent, n'ayant entre les mains aucun des documents curieux que cette enquête fournira certainement; mais, je me suis dévoué assez longtemps aux intérêts agricoles pour les comprendre, et pour prévoir dès maintenant le résultat général que donnera probablement cette recherche de la vérité sur tous les points du territoire de l'empire; je viens vous le dire avec simplicité et en cherchant à échapper à toute espèce d'exagération.

Les causes de la souffrance dont on a parlé s'expliquent en deux mots. Il y a eu des années de grande abondance dans les récoltes, et ces années bénies de Dieu ont succédé à des années de rareté. Dans ces heureuses années, le prix de toutes les choses nécessaires à la vie avait augmenté en même temps que les besoins du luxe. Durant les mauvaises années que nous traversons, au contraire, le prix des denrées a beaucoup baissé, dans les campagnes du moins, et il en est résulté une sorte de rupture d'équilibre entre les recettes et les dépenses d'un très-grand nombre de ménages vivant de la vente des produits de la terre. Quand je dis que le prix des denrées a beaucoup baissé, beaucoup d'entre vous assurément, surtout ceux qui habitent Paris, doivent écouter une pareille assertion avec une certaine incrédulité. C'est qu'en effet le prix des matières premières, le prix payé aux producteurs est bien diminué, mais le prix payé par les consommateurs n'a guère changé. Il semble en effet qu'à mesure que le prix des denrées s'élève et atteint un certain niveau, c'est pour ne plus jamais en descendre. Vous savez ce mot prononcé un jour à la Chambre des députés. Le budget venait d'atteindre un miliard, ce dont on s'effrayait beaucoup, et un député de dire : « Vous ne reverrez jamais ces rives heureuses; autrefois le budget était de 900 millions et vous vous en plaigniez. Croyez bien que jamais il ne descendra au-dessous de ce milliard qui vous effraye, et que plutôt il s'élèvera toujours! » — Et aujourd'hui nous pouvons dire aussi qu'une fois nos deux milliards de dépenses dépassés, nous ne reviendrons jamais au-dessous. Ce qu'on dit des dépenses de l'État est vrai, toutes proportions gardées, du budget des particuliers.

Il y a ainsi un niveau que l'on prend : on s'habitue, dans les temps de prospérité, à une dépense excessive, et, lorsque plus tard on n'a plus le produit qui était en rapport avec cette dépense, on souffre, on crie, on se plaint beaucoup; il faudrait supprimer ou diminuer la dépense, faire un retour sur soi-même; mais on ne le fait jamais! C'est ce qui arrive aujourd'hui pour les consommateurs, qui payent tout plus cher, les consommateurs des campagnes comme ceux des villes. Les revenus se sont amoindris, et la gêne est venue avec les mille embarras qui constituent les vraies souffrances de l'agriculteur.

La cause des souffrances de l'agriculteur étant connue, peut-on y porter remède? Il faut en étudier les différents éléments pour s'en rendre compte.

N'y a-t-il pas une sorte de blasphème à venir proclamer que, lorsque la récolte est abondante, cette récolte, que la Providence fait obtenir au cultivateur pour le récompenser de

Digitized by Google

son travail, est un malheur? Se plaindre de l'abondance des récoltes est chose abominable; cela révolte le bon sens; lorsque la terre a beaucoup produit, lorsque le ciel a béni les efforts du cultivateur, c'est un immense bonheur! Si l'avilissement du prix des denrées en est la conséquence, et s'il produit des désastres, c'est qu'il y a des défauts d'organisation dans le domaine rural et son mode d'exploitation; ces défauts, il faut les faire disparaître, mais il ne faut jamais dire qu'une disette ou qu'une rareté, — qui introduisent la faim dans les ménages, la faim chez les pauvres, — il ne faut jamais dire qu'un pareil événement pourrait guérir le mal d'une année d'abondance. Donc, incontestablement, il faut s'applaudir d'abondantes récoltes; ce n'est pas à les tarir qu'on doit s'attacher, ce n'est pas dans leur diminution qu'on peut trouver le remède aux souffrances dont on se plaint.

Ces souffrances ont été surtout caractérisées de cette manière : Un hectolitre de blé revient au cultivateur à 16 ou 17 francs; il l'a vendu tout au plus de 15 à 16 francs; il a donc été en perte, et par conséquent, il n'a plus eu d'argent pour acheter les autres denrées nécessaires à sa subsistance; sa famille est donc malheureuse.

Il y a aussi les contrées qui ont été atteintes par quelque fléau particulier; la culture du mûrier, autrefois si productive, ne donne plus de quoi payer l'impôt depuis la maladie qui sévit sur les vers à soie. Les cultivateurs de garance ont vu aussi leurs produits tomber à vil prix; donc là aussi des souffrances. On pourrait en dire autant de quelques autres parties de la France, mais non pas pour toutes. Il y a des régions, celles des herbages, par exemple, qui sont loin de souffrir, car aujourd'hui, la production de la viande est fortement encouragée par le haut prix de cette denrée. Dans d'autres régions on a la vigne qui fournit de brillantes récoltes, avec des prix de vente souvent très- élevés; certains pays adonnés à la viticulture sont dans la situation la plus prospère.

Les contrées qui souffrent sont celles qui produisent trop exclusivement des céréales, celles dans lesquelles toute la spéculation du cultivateur repose sur la vente plus ou moins avantageuse de l'hectolitre de blé. Là, il est évident que, si le prix de revient est plus fort que le prix de vente, on doit nécessairement perdre, puisqu'on ne fait pas autre chose que des céréales. Il y a bien à cet état de choses quelques compensations; car, presque nulle part, on ne cultive exclusivement du blé; on fait en même temps de l'avoine, par exemple, et l'avoine se vend à prix très-rémunérateur; on fait des fourrages, des pailles, qui sont aussi à des prix très-satisfaisants.

Il faut en outre, si l'on veut atteindre l'exacte vérité, diviser en plusieurs séries distinctes, en classes, les différents producteurs de blé, pour déterminer quels sont ceux qui souffrent le plus. Vous savez qu'il y a en France deux grands systèmes d'exploitation du sol : le métayage, c'est-à-dire une association entre le propriétaire et le cultivateur, avec partage des fruits de la terre entre les deux; et le fermage qui est tout le contraire, c'est-à-dire que là c'est un cultivateur-entrepreneur qui loue une ferme en payant une rente déterminée au propriétaire. Celui-ci n'intervient jamais dans la culture. — Le fermier est bien plus exposé que le métayer; car le métayer, quand une année est abondante, a d'abord, dans le partage des fruits à moitié, une abondante récolte; pour ces années-là, ses moyens d'existence sont complétement assurés, et de plus il a encore un excédant qu'il vendra et qui par conséquent lui procurera un bénéfice. Le fermier au contraire a une rente peut-être trop considérable à payer; si le prix de revient est trop fort, si le prix de vente est trop faible, le fermier souffrira et souffrira sans compensation.

Il faut encore tenir compte des propriétaires qui cultivent eux-mêmes; ceux-là ne souffrent pas beaucoup, parce que, comme les métayers, ils ont aussi leur subsistance assurée. Seulement, s'ils ont porté, ainsi que je le disais tout à l'heure, leurs dépenses de luxe à un niveau trop élevé, comme ils ne trouveront pas dans la vente de leurs denrées de quoi payer ce luxe, ils seront évidemment placés dans une situation très-gênée.

Quant à la classe des ouvriers ruraux proprement dits, elle n'est pas en souffrance lorsque les récoltes sont abondantes; mais, à la longue, si les propriétaires, si les fermiers, se trouvent atteints dans leur fortune, les travaux des champs sont diminués; et alors, le travail manquant, ceux qui n'ont pour vivre que des salaires faisant défaut sont à leur tour frappés par cette crise devenue générale.

Il faut s'attacher à faire que, lorsqu'un pays produit beaucoup, il puisse avoir des débouchés qui y empêchent l'avilissement du prix des denrées agricoles; si le marché intérieur est encombré, il faut pouvoir au moins vendre au dehors. La liberté d'exportation, la liberté commerciale absolue constitue donc un grand bienfait qui nous a été donné seulement il y a quelques années, ou plutôt qui nous a été rendu, car il existait autrefois.

Mais pour savoir si l'on trouvera plus ou moins facilement des débouchés à l'étranger, il faut, entre plusieurs conditions essentielles, rechercher si nos denrées sont produites à des prix tels qu'elles puissent supporter la concurrence du dehors. Il faut donc déterminer les éléments du prix de revient. Mais rien n'est plus difficile à établir d'une façon moyenne, parce que les moyennes ne correspondent pour ainsi dire à aucune réalité; elles ne sont la vérité pour presque personne; le prix de revient varie d'un lieu à l'autre, il varie à l'infini. Pour vous montrer l'abus des moyennes, je me permettrai de vous rapporter une anecdote dont j'ai été témoin. Il y a une dizaine d'années, dans un concours agricole du Midi, où s'étaient montrés d'excellents vins, mais aussi des vins de toute nature, des vins vieux et des vins nouveaux, des vins sucrés et des vins secs, des vins mousseux et des vins sans acide carbonique, il y eut un banquet pour terminer la fête agricole, selon l'habitude que vous connaissez bien. Tous les exposants eurent la générosité de donner leurs vins pour qu'ils fussent bus dans le banquet. Mais il vint un scrupule à un organisateur, à un administrateur, veux-je dire; — ils ont toujours des scrupules, les administrateurs! — Il réfléchit qu'il y aura des convives qui boiront de bon vin et d'autres qui en auront de détestable, puisque les bouteilles vont être réparties d'une façon tout à fait abandonnée au hasard, sur la table de deux ou trois cents convives. Cette repartition lui parut souverainement injuste! Alors il imagina de faire venir un tonneau, et de faire vider toutes les bouteilles dans ce tonneau. Puis, quand le tout fut bien mélangé, il remit le vin dans les bouteilles des exposants sans rien changer aux étiquettes. Or, quand les convives arrivèrent et voulurent déguster leurs vins, il avait fait très-chaud, le mélange avait fermenté horriblement. Tout le monde eut un breuvage détestable. Voilà l'image de beaucoup de moyennes fournies par les statistiques.

Oui, les moyennes ressemblent souvent à ce mélange du

Digitized by Google

bon et du mauvais vin; et il faut nous garder de jamais abuser de ces sortes de calculs, et de croire que ce qui est vérité dans une localité peut être regardé comme vérité ailleurs. Mais nous pouvons établir des approximations, en ayant soin de tenir compte de toutes les causes d'erreur.

Pour toute denrée produite par l'agriculture, les éléments qui entrent dans son prix de revient sont évidemment l'impôt, la rente du sol et du capital d'exploitation, les salaires, les engrais, les prix de transports.

D'abord, l'impôt; partout où il y a un produit, l'impôt, c'est-à-dire l'État, intervient, et prend une certaine somme d'argent; il faudrait tâcher qu'elle fût le moins considérable possible. Mais le cultivateur n'y peut pas grand'chose; il est obligé de payer au percepteur quand on lui en envoie la sommation. Toutefois, bien des améliorations sont à désirer, particulièrement en ce qui concerne les droits de mutation, les octrois, etc. Mais je n'ai qu'à indiquer des réformes sans m'appesantir.

Il y a ensuite la rente du capital. La rente du capital, c'est d'abord celle de la valeur de la terre. Malheureusement, lorsqu'un fermier a amélioré son champ, et que la fin de son bail arrive, le propriétaire augmente le fermage si le rendement du champ est devenu plus considérable. Aussi, le fermier a-t-il l'habitude, en France, d'épuiser la terre pendant les trois ou quatre dernières années de son bail, de la ruiner, d'en tirer tout ce qu'elle est capable de rendre, parce que, se dit-il, s'il la laissait en bon état au propriétaire, celui-ci lui doublerait peut-être le taux du fermage. Un remède pourrait être apporté à ce mal, et ce remède a été établi en Angleterre; il constitue un acte du parlement qui s'appelle la clause de lord Kames. Quand le fermier entre en possession d'une terre qu'il a louée, d'un domaine qu'il doit exploiter, il est fait une expertise de la valeur de la terre; lorsqu'il doit abandonner son bail, au bout de quinze, dix-huit ou vingt ans, peu importe le temps, une nouvelle expertise intervient, et, s'il y a plus-value provenant des améliorations effectuées, le propriétaire qui renvoie son fermier est obligé de payer la différence, de payer l'amélioration; il en résulte qu'en Angleterre on ne renvoie jamais le fermier. Le fermier, à moins qu'il ne veuille s'en aller lui-même, reste toujours sur la terre; il s'établit ainsi une solidarité, une association perpétuelle entre les propriétaires fonciers et les exploitants du sol; les premiers s'intéressent beaucoup aux améliorations, parce que ces améliorations leur font honneur, et que d'ailleurs leur capital véritable s'accroît. Tout propriétaire dont le fermier cultive bien la terre comprend que la valeur de son fond augmente, et que par conséquent il est intéressé à ce que tous les progrès de la science et de la pratique soient appliqués sur ses domaines. De son côté, le fermier qui améliore sait que dans le cas où il tomberait dans une liquidation ou sur un mauvais propriétaire, on lui payerait ses améliorations. Voilà donc un remède facile, qu'on pourrait introduire en France pour faire que la rente du sol, cet élément du prix de revient, la rente du capital, ne soit pas en désaccord avec la valeur des produits, et ne pèse pas trop fortement sur le cultivateur qui en est grevé.

Une autre partie de la rente du capital, celle qui est afférente au capital d'exploitation, est généralement bien plus rémunératrice que la rente du sol. Lorsque le capital foncier ne rapporte que 2 ou 3 pour 100, le capital d'exploitation en bétail, en machines, en améliorations diverses, donne un revenu de 8 à 10. Malheureusement, beaucoup de cultivateurs n'ont pas un capital d'exploitation suffisant. Alors leurs champs ne rapportent presque rien. Il faudrait aussi que le crédit agricole fût organisé, que le cultivateur trouvât, dans ses moments de besoins, de l'argent à un taux en rapport avec ce qu'il peut tirer d'un capital bien employé. C'est une grave question que je ne dois qu'indiquer ici. Il doit me suffire de vous dire que notre agriculture peut espérer des réformes qui, sous ce rapport, adouciront ses souffrances.

Un autre élément du prix de revient, ce sont les salaires donnés aux ouvriers ruraux. L'augmentation des salaires est générale dans les campagnes; quelques-uns s'en plaignent; pour moi, j'y applaudis de toutes mes forces; je suis très-heureux quand je vois des ouvriers mieux payés. Vous savez combien la différence des salaires ruraux et urbains est une excitation pour les gens de la campagne à émigrer dans les grandes villes. Quand on vient leur dire qu'ils ne gagnent qu'un franc cinquante centimes dans les campagnes et qu'ils pourront gagner 3 et 4 francs dans les villes, ils ne tardent pas à céder à cet attrait, sans se douter de l'accroissement de dépense qui les frappera dans les villes. Mais si les salaires des campagnes restaient dans une bonne proportion avec les salaires des villes, s'ils allaient en croissant en même temps que ceux des villes, alors, l'instruction aidant, le paysan resterait à son champ et le cultiverait avec beaucoup plus de bonheur qu'on n'en trouve d'ailleurs dans les populeuses cités. Ainsi, là encore, il ne faut pas se plaindre, il faut laisser les salaires augmenter. Que seulement le cultivateur puisse être en mesure d'employer les instruments, les machines qui suppléeront à l'insuffisance des bras. Des institutions de crédit peuvent rendre facile la transformation de l'outillage rural.

Viennent ensuite les engrais. L'engrais, c'est la matière première de l'agriculture. C'est avec l'engrais qu'on fait du blé, qu'on fait de la viande, qu'on fait toutes les denrées alimentaires et tous les vêtements que nous employons, tous les objets, pour ainsi dire, dont nous nous servons, c'est-à-dire que, avec l'engrais, on obtient toutes les matières qui servent à la satisfaction des besoins de l'homme.

Par suite d'une loi providentielle, admirable, toute substance en décomposition, tout ce qui ayant cessé de vivre se transforme, est un élément vital pour les plantes. Il faut donc recueillir toutes les matières rejetées par les hommes et par les animaux et les rapporter dans les champs. Ce ne sont que les matières ayant déjà vécu qui se décomposent de cette façon, ou bien ce sont encore quelques matières qui, par leur contact avec des principes ayant vécu, entrent à leur tour dans le cercle de la vie.

On peut représenter cette grande loi naturelle en disant qu'à un moment donné il y a un équilibre incontestable entre les habitants de notre planète et la végétation. Les habitants se nourrissent de viande et de végétaux; les animaux eux-mêmes qui donnent la viande, se nourrissent de plantes, de telle sorte qu'il y a en présence, d'un côté, la vie végétale, et de l'autre la vie animale.

Le végétal devenu la nourriture de l'homme se trouve détruit dans notre organisme. Une partie en est rendue à l'atmosphère par les poumons à l'état d'acide carbonique, de vapeur d'eau et de quelques autres gaz; une autre partie est rejetée dans les liquides et les solides immondes. Ainsi, voilà le végétal qui est transformé en acide carbonique dans l'air, et en différents détritus, en différentes dé-

Digitized by Google

jections, pour employer le mot technique. Ces déjections reviennent à la terre; les plantes y puisent plusieurs des éléments nécessaires pour constituer leurs organes, tandis que reprenant d'un autre côté à l'atmosphère tout le carbone qui s'y trouve à l'état d'acide carbonique, elles nous rendent l'oxygène en prenant ce carbone, en se l'assimilant. Chacun de nous consomme par jour 250 grammes de carbone, c'est-à-dire une quantité équivalente, passez-moi ce détail, à plus de 1 litre de charbon de bois. Voilà ce que nous consommons chaque jour pour le rendre à l'atmosphère, où les plantes le reprennent. De même aussi les plantes reprennent dans le sol les éléments des déjections solides et liquides de la vie animale.

Tel est l'équilibre qui s'établit. Mais si, parmi les diverses matières rejetées, il en est quelques-unes qui soient abandonnées aux cours d'eau, et aillent se disperser dans la mer, c'est autant de perdu pour les végétaux. En diminuant ainsi d'une fraction quelconque, ne fût-ce que d'un millionième, la quantité de végétaux qui existe sur la surface solide de la terre, — je ne parle encore que de celle-ci, — on porte une atteinte grave à la vie des animaux qui peuplent les îles et les continents.

Si une société était organisée pour jeter toujours à la mer tous les détritus de la vie animale, insensiblement elle arriverait à la famine, à la destruction de la population. La quantité de la vie sur les continents diminuerait peu à peu. Il n'y aurait, pour bénéficier de cette partie de la vie ainsi détruite, il n'y aurait que les habitants des mers, c'est-à-dire les poissons. Rien ne se perdrait donc en réalité; les poissons se multiplieraient, et la vie animale augmenterait d'une façon considérable dans les profondeurs de l'Océan. Voilà pourquoi aujourd'hui que, depuis plusieurs siècles déjà, on a l'habitude de laisser écouler des matières organiques vers la mer, il faut avoir recours aux substances organiques cachées dans l'Océan, qui recouvre les deux tiers de notre globe, pour tâcher de les réintégrer à la surface de la terre; il faut faire des pêches de poisson abondantes. Il faut ramener les coquillages et tous ces êtres nombreux qui vivent dans le fond de la mer et ont été toujours en pullulant, il faut les ramener dans le cercle de la vie à la fois végétale et animale que je viens de vous signaler.

Pour augmenter aussi cette quantité de vie à la surface de la terre, il faut avoir recours à quelques gisements plus ou moins considérables de matières fertilisantes qui existent dans les profondeurs de l'écorce solide de notre globe; par exemple, aux bancs de phosphate de chaux, c'est-à-dire à cette matière qui est identique avec nos os; il faut prendre ce phosphate de chaux dans le sein de la terre, et tâcher, en le plaçant en contact avec les matières organisées qui proviennent de la décomposition de la vie animale, de constituer une nourriture plus abondante pour les végétaux.

On devra aussi avoir recours à d'autres agents minéraux, à la chaux, au plâtre, aux nitrates, aux sels de potasse qui existent dans les eaux de l'Océan et dont on a récemment découvert des gisements, au sein de la terre, en Allemagne. Tous les minéraux, entrant d'abord dans la constitution des plantes, arriveront ensuite dans celle des animaux. L'ensemble de la matière organisée augmentera; les transformations incessantes dont j'ai cherché à montrer l'admirable cercle se multiplieront; on pourra ainsi accroître la quantité de vie qui règne à la surface de notre planète.

Voilà donc la manière générale d'attaquer la question des engrais; d'une part, en ayant soin que rien ne se perde dans les villes et dans toutes les habitations, et d'autre part, en ayant recours aux profondeurs de l'Océan, aux pêches sur tous les bancs, sur toutes les côtes habitées, et enfin, en explorant le fond du sol sur lequel nous marchons, pour ramener à la surface tous les corps qui peuvent être organisés.

Il y a d'ailleurs à cette manière d'agir un intérêt de premier ordre. C'est tellement une condition de la vie à la surface de la terre de recourir aux détritus en désorganisation, que si l'homme, se reposant dans sa paresse, ne le fait pas, alors ces matières deviennent des poisons actifs, et menacent de tuer les êtres vivants; elles se font le foyer de toutes les épidémies; et l'homme, ayant à côté de lui une matière qui devient un poison, est bien obligé, lorsque la science lui a indiqué la source de ce poison, d'enfouir cette matière dans la terre pour la transformer en engrais. Le premier principe d'une bonne hygiène, c'est de renvoyer à la terre, le plus tôt possible, tous les détritus, qui, sans cela, seront bientôt menaçants pour la santé publique. Malheureusement ce principe n'est pas encore parfaitement bien compris, ni par conséquent bien appliqué.

Sans doute déjà nombre d'industriels ont songé à tirer parti de toutes les vidanges des villes pour l'agriculture; mais, en général, ils ne les utilisent qu'après leur avoir fait subir des décompositions qui diminuent d'abord une grande partie de leur valeur, et qui, en outre, répandent des miasmes fétides dans l'atmosphère. Il faudrait, à l'origine même, dans les ménages, avoir recours à des désinfectants. Depuis quelques années, on se sert de l'eau en plus grande abondance; cela désinfecte, cela purifie l'intérieur des appartements; mais cela ne fait autre chose aussi que d'envoyer immédiatement les matières fertilisantes dans les égoûts qui les conduisent ensuite à la mer. A Paris, les égouts aboutissent à Asnières; là les eaux qui ont nettoyé la grande ville vont se mélanger à la Seine. Le beau fleuve menace d'empoisonner un jour les habitants de tous les villages, de toutes les villes qui existent sur ses rives admirées. Dans tous les cas, les matières fertilisantes que ses flots charient vont en fin de compte se répandre dans l'Océan, et diminuer, ainsi que je vous le disais tout à l'heure, la quantité de vie à la surface de la terre.

Ce n'est donc pas là une solution réelle, mais simplement une amélioration; il faudrait, comme cela a lieu d'ailleurs, à Édinburgh ou à Milan, par exemple, et dans quelques autres villes, que ces cours d'eaux immondes, au lieu de se perdre dans les fleuves et ensuite dans l'Océan, fussent répandus en irrigations sur les plaines incultes qui occupent plusieurs milliers d'hectares, sur les bords de l'Océan même, avant leurs embouchures. C'est une chose qui se fera, mais, en outre, il faudrait dès ce moment empêcher que, pendant son parcours, un fleuve immonde, alors même qu'il serait répandu à l'état d'irrigations sur la surface du sol, continuât à envoyer dans l'atmosphère des émanations malsaines; il faudrait l'avoir désinfecté.

Ce mot de désinfectant, on en a souvent et beaucoup abusé. Les compagnies nocturnes, à Paris, prétendent avoir des agents désinfectants qui se mêlent aux matières au moment même où l'on va les emporter; mais nous avons tous eu le malheur de rentrer chez nous quelquefois après minuit, et nous savons combien peu on désinfecte! C'est longtemps avant la vidange, c'est au moment même où les matières sont produites et alors qu'elles vont s'emmagasiner dans les fosses,

Digitized by Google

qu'on devrait avoir recours à des agents désinfectants convenables. Il faudrait, pour cela, se servir de corps actifs, au lieu de ceux qu'on emploie et qui sont inefficaces; ces corps, d'ailleurs, devraient être utiles à l'agriculture. Il faudrait les rechercher. La science a déjà indiqué plusieurs agents. Il y a notamment les phosphates qu'on peut prendre, comme je le disais il y a un instant, dans le sein de la terre. Le phosphate de chaux existe en bancs considérables. Il constitue la substance des os, non-seulement des hommes, mais encore des animaux, et il se trouve dans toutes les graines; là où il y a des semences, il se trouve nécessairement du phosphate de chaux. Il faudrait prendre cette matière, la transformer d'une manière facile en un phosphate soluble, par exemple en phosphate acide double de magnésie et de fer; on aurait ainsi un liquide dont chacun se servirait chez soi, pour empêcher immédiatement l'infection de se produire et augmenter la fertilité de la matière, en même temps qu'on en ferait usage sur tout le parcours du liquide dans les canaux ui le conduiraient vers les prairies irriguées. Ainsi les déjections ne pourraient jamais nuire, ni répandre au dehors des miasmes pestilentiels; voilà, selon moi, la meilleure solution d'un problème qui occupe tous les édiles des grandes villes; c'est pourquoi j'ai essayé de vous en tracer le tableau.

Augmenter la masse des engrais, diminuer leur prix, c'est donc nécessairement donner un moyen de guérir en partie la crise agricole. Je ne suis pas le premier à le dire. Je vous apporte sur ce point une solution qui a déjà été indiquée; seulement, je crois qu'il faut avoir recours à tout ce qu'on a entre les mains, aux fumiers, à toutes les déjections des villes, et aussi à toutes les substances quelconques qui peuvent prendre la forme organique.

Au lieu de cela, dans une autre enceinte (1) il n'y a pas longtemps, on a proposé une formule chimique, quelques sels, qui, en quantité très-réduite (quelques centaines de kilogrammes seulement par hectare de terre) devraient, a-t-on dit, se substituer à tout fumier, et devenir les agents essentiels de la fertilisation. On a formulé ceci, que toute la science agricole pouvait se réduire à l'emploi de quatre corps, que l'on introduirait dans le sol tous les quatre ans, pour une somme de 500 à 600 francs par hectare. On a ajouté qu'avec cela, on porterait immédiatement le produit de la terre, qui est de 15 à 16 hectolitres de blé par hectare, à un taux de 30 à 35 hectolitres, c'est-à-dire qu'on obtiendrait le double de ce qu'on a aujourd'hui, et même plus du double.

Il est évident que, si cela était vrai, il faudrait y regarder de très-près avant de rejeter une pareille réforme dans la pratique de la culture; il faudrait cesser de faire du fumier et de se donner tant de peine pour récolter si peu; il faudrait aller acheter et répandre dans les champs la poudre merveilleuse qui augmenterait ainsi tout à coup le produit de la terre, dans cette proportion du simple au double ou au triple... Mais tout cela est-il vrai?

Pour essayer de le démontrer, on a remarqué, — et c'était juste, — que dans un végétal, de même que dans un animal, on ne rencontre que quatorze des corps simples, parmi les soixante et quelques que la chimie a découverts. Quand on a eu établi ce point, on a dit que plusieurs de ces quatorze corps simples étaient en quantité suffisante dans la terre; que quelques-uns seulement manquaient, et que c'étaient ceux-là qu'il fallait ajouter. Eh bien, il faut ici se garder de cet abus des moyennes dont je vous parlais tout à l'heure. Il y a autant de terres variées contenant des éléments différents, et différemment répartis entre eux, qu'il y a de vins différents; et vouloir donner un seul fumier pour toute espèce de terre, c'est commettre la même erreur que de croire qu'en mélangeant toute espèce de vins, on aura un vin excellent, ou seulement suffisamment bon. Il y a des terres où il faut ajouter sept, huit ou dix de ces éléments; il y en a d'autres où il n'en faut ajouter qu'un ou deux pour obtenir une récolte; mais la récolte une fois obtenue, elle enlève dans des proportions diverses tous les éléments qui existaient dans le sol, elle enlève les quatorze. Si l'on en tire une seconde récolte, elle enlèvera encore des proportions diverses de ces quatorze éléments, et par conséquent il finira toujours par se rencontrer que quelques éléments manqueront à la terre. En fin de compte, il faut du fumier. On vient nous dire qu'on peut se passer de fumier aujourd'hui. C'est induire les cultivateurs en erreur, c'est pousser la France dans la plus détestable des voies.

Voyons d'avantage ce qu'on a conseillé. Avec quatre corps seulement, dit-on, on pourrait obtenir le double de ce qu'on obtient aujourd'hui, et dès lors abaisser le prix de revient de moitié. Nous produisons aujourd'hui 100 millions d'hectolitres en moyenne; cela va depuis 60 jusqu'à 120 millions d'hectolitres à peu près, selon les années. Si nous doublons la production moyenne, nous aurons 200 millions d'hectolitres; or, l'homme a beau manger du pain, il ne peut manger plus de 2 hectolitres et demi de blé en moyenne par tête et par année. On nous dit: Vous en vendrez au dehors; l'Angleterre a besoin chaque année de 30 à 35 millions d'hectolitres; vous en auriez 100 millions de trop, vous auriez donc de quoi vendre en Angleterre. Cela serait vrai, si l'Angleterre était assez folle, dans l'hypothèse où la formule chimique serait vraie, pour déclarer qu'elle ne l'emploierait pas, et pour n'avoir pas recours elle aussi à ce moyen si simple d'augmenter sa production. L'Angleterre produit de 16 à 20 hectolitres par hectare; elle en produira 35 et n'aura pas à acheter. Bien loin de là, si elle augmente sa production dans cette proportion, elle aura un fort excédant. Alors les Anglais auront à revendre du blé, bien loin de venir en prendre chez nous.

On ne saurait donc admettre comme sérieuse cette solution de la crise agricole qui, a-t-on dit, abaisserait le prix de revient de l'hectolitre de blé à 10 francs. L'abaissement, si cela était vrai, se ferait pour tout le monde, et il aurait pour conséquence un abaissement général du prix de vente. Il faut donc rejeter un pareil système, quand d'ailleurs il aboutit à ceci, à venir dire à l'État: Maintenant qu'il est démontré que le fumier n'est pas nécessaire, et que quatre agents chimiques convenablement mélangés suffisent, prêtez à l'agriculture, qui n'a pas assez d'argent, prêtez-lui 100 millions, qu'elle ne vous rendra qu'au bout d'une année, quand elle aura fait sa récolte, mais à condition qu'elle vienne acheter notre engrais. — Si vous proposez une pareille solution, c'est qu'évidemment vous avez intérêt à vendre cet engrais, non pas parce qu'il suffit à guérir les souffrances de l'agriculture, mais parce que vous voulez réaliser des bénéfices. De sorte que j'aime bien mieux continuer à dire aux cultivateurs, ce qui est vrai: Faites des

(1) Voy. la conférence faite à la Sorbonne sur la *crise agricole*, par M. Georges Ville dans le n° 17 (24 mars 1866) de la *Revue des cours scientifiques*.

Digitized by Google

fumiers partout, faites-les bien, mais en même temps ne perdez aucun des éléments de fertilisation que la nature a mis à côté de vous. Soyez attentifs à ne laisser rien perdre autour de vous, et vous aurez, pour l'agriculture, des engrais à bon marché, et en abondance; c'est ainsi que le problème de rendre cet élément du prix de revient moins élevé sera résolu d'une façon générale.

D'ailleurs, cet engrais industriel que l'on propose pour remplacer le fumier se maintiendrait-il longtemps à meilleur marché que celui-ci? Il est évident que non. Car si un corps déterminé, un agent industriel, un composé commercial, vient à être acheté par tout le monde, il est bien vite en hausse. Vous le savez, messieurs, quand une chose est beaucoup demandée, le prix augmente immédiatement, et tous les calculs qui sont faits pour le prix de revient actuel de cette denrée seraient immédiatement détruits, dès que cette substance aurait acquis une plus grande valeur. Au contraire, si vous avez recours à la masse générale de toutes les matières en décomposition, masse très-abondante, indéfinie, si vous me permettez cette expression, et qui d'ailleurs est toujours en rapport avec la vie végétale et la vie animale, comme je l'ai démontré il y a un instant, vous arrivez à cette conséquence que le problème de maintenir les habitants de ce globe avec des aliments toujours suffisants et en rapport avec leur nombre se trouve complétement résolu. Notez bien, du reste, que nous sommes loin de repousser l'emploi des engrais industriels, même celui des engrais de M. Ville. Mais nous disons que ce ne sont que des *adjuvants*, et que d'ailleurs ce n'est pas à accroître la production du blé qu'il faut les appliquer, mais bien à augmenter la production des fourrages et par suite celle de la viande. La consommation de la viande peut être avantageusement accrue dans une forte proportion. Les engrais industriels doivent surtout servir à résoudre cette question de fournir aux populations une plus abondante nourriture animale.

Un autre élément de la question des prix de revient des denrées agricoles est le prix des transports; il est évident qu'il faut rendre le prix des transports le plus faible possible.

Établissez des voies de communication, et alors il est incontestable que les prix se nivelleront entre tous les pays, et aussi que les inconvénients des famines et des disettes disparaîtront.

J'ai beaucoup étudié cette question des causes des bonnes et des mauvaises récoltes. On avait cherché autrefois à attribuer une mauvaise récolte ou une abondance à des actions diverses au-dessus du pouvoir de l'homme. On a dit que c'était le soleil qui, déversant, d'une année à l'autre, plus ou moins de chaleur sur la terre, — car sans chaleur il n'y a pas de végétation à la surface de la terre, — fait que les récoltes sont plus ou moins bonnes. Vous savez que le soleil n'a pas toujours une surface brillante et unie, qu'il y a des taches au soleil. Ces taches entrent sur le bord oriental de l'astre, mais elles le quittent, traversent le centre, et disparaissent sur le bord opposé, pour revenir ensuite au même point à peu près au bout de quatorze jours, et suivre encore la même marche. Mais dans l'intervalle ces taches changent graduellement de forme, diminuent, ou même disparaissent tout à fait.

Les astronomes ont mesuré les taches existant sur le soleil; il les ont comptées jour par jour, saison par saison. Naturellement on a été conduit à rapprocher les résultats de l'étude de ces taches avec celle des différents phénomènes météorologiques qui se passent sur notre globe. Herschel fut le premier astronome qui s'occupa de ce sujet. Il voulut savoir si la température des saisons était en rapport avec le nombre et l'étendue des taches solaires. Mais autrefois, les observations météorologiques précises étaient rares. Les observations thermométriques manquant, Herschel prit le parti de comparer la multiplicité des taches avec les prix moyens connus du blé en Angleterre, et il crut avoir constaté un rapport certain qui était celui-ci: que quand il se trouvait plus de taches au soleil, la récolte était plus abondante. M. Arago voulut refaire le même calcul pour la France; il l'avait commencé; mais, vers la fin de ses jours, étant devenu presque aveugle, il me demanda de le continuer. Eh bien, pour la France, je suis arrivé à un résultat tout à fait différent. Plus il y a de taches, pour la France au moins et pour la période de temps que j'ai examinée, moins la récolte est bonne. Des résultats si divers ne doivent pas vous étonner; la récolte est abondante en un pays, et souvent, au contraire, mauvaise dans un autre, qui n'est pas bien éloigné du premier. L'an dernier, nous avons eu une abondante récolte, et, il y a deux ans, une récolte telle qu'on n'en avait pas vu depuis le commencement de ce siècle. Eh bien, en Hongrie, il y avait une famine, on n'avait pas de blé. Vous voyez qu'un astronome comparant avec les taches solaires les prix dans un pays qui n'est pas bien loin de nous, et les prix existants en France, arriverait à des résultats complétement différents. Il n'y a pas de relation, suivant moi, entre les taches du soleil, et la production du blé, le revenu de la terre.

J'ai étudié la question autrement; j'ai pris la production dans des localités déterminées; j'ai trouvé un certain nombre de fermes où, depuis 30 ans, depuis 40 ans, on a chaque année inscrit avec une grande exactitude le rendement moyen des champs. Par conséquent, on a là une série de bonnes et de mauvaises récoltes. Dans des villes voisines, on a fait des observations météorologiques mois par mois. Eh bien, j'ai toujours reconnu que la production du blé dépend surtout d'une principale phase, c'est-à-dire, ce que tout le monde soupçonne du reste déjà, de la phase de la floraison, et qu'il y a une relation décidée entre le temps qui règne pendant la floraison et le résultat définitif de la récolte. Or, dans un grand pays comme la France, la floraison ne se fait pas partout à la même époque. Voilà pourquoi les cultivateurs du Nord qui regardent leur almanach attachent tant d'importance au temps qu'il fait à la Saint-Médard, c'est-à-dire au 11 juin, et pendant les jours qui suivent cette date; c'est ainsi qu'ils ont constaté la relation qui existe entre le temps qu'il fait pendant les premiers jours de juin et l'état de leurs récoltes. Mais, dans le midi de la France la floraison a lieu dans la seconde quinzaine de mai; et, si nous descendons plus bas encore, vers le commencement de mai. Voilà donc des régions dont les récoltes dépendront du temps qu'il fera à des moments fort divers. C'est pourquoi les récoltes sont très-différentes suivant les latitudes; et, comme il n'arrive presque jamais que le mauvais temps règne pendant six ou sept semaines, il n'arrive non plus presque jamais sur une grande étendue de continent un ensemble universel de mauvaises récoltes. Au contraire, toujours, dans certains pays, il y a de bonnes récoltes, et ailleurs, de mauvaises; c'est la moyenne que nous devons prendre, la moyenne avec précaution, c'est bien entendu. L'ensemble pourra être plus ou moins bon, plus ou moins mauvais; mais quand des voies de communication seront

Digitized by Google

réparties sur toute la surface du pays, quand nulle part une localité ne sera séparée des localités voisines et presque ruinée, tandis qu'une autre regorgera de denrées, et quand partout, d'ailleurs comme cela arrivera un jour, il y aura une paix constante, quand une solidarité véritable existera entre les différents États, alors le prix du blé prendra un niveau moyen qu'on peut exprimer implicitement, en quelque sorte, en disant que les denrées auront partout le prix du pays où il sera le plus bas, augmenté seulement du prix de transport vers l'endroit où la production aura été insuffisante. Alors, assurer un prix de transport le plus faible possible, ce sera évidemment le moyen de faire que partout on jouisse de l'abondance répartie à une nation, ce sera faire qu'il y ait abondance pour toutes les populations.

Voilà pourquoi, en étudiant les différents éléments dans lesquels se décompose le prix des denrées, j'ai pris comme exemple, à propos du prix de transport, cette relation possible entre les localités qui produisent peu et celles qui produisent davantage.

Il y a certaines influences qui dépendent de chacun de nous, et aussi du gouvernement, pour rendre le prix des denrées le plus bas possible, mais cependant toujours en rapport avec les dépenses faites pour les obtenir. Il y a un rapport constant entre les dépenses et les recettes. Si l'on ne rompt pas l'équilibre, la souffrance disparait nécessairement. Par conséquent, on peut arriver, en modérant les dépenses et les tenant au-dessous des recettes, à guérir cet état de malaise que nous rencontrons de temps en temps en France, que nous subissons cette année, qu'on a subi il y a douze ans, il y a vingt-cinq ans, comme on a subi des périodes, pour ainsi dire, de succès et de ruine à des époques plus ou moins éloignées; périodes qui se succèdent nécessairement, suivant l'antique histoire des sept vaches grasses et des sept vaches maigres. Seulement, nous pouvons arriver à ce qu'il y ait toujours des vaches grasses, et c'est vers ce temps où il y aura toujours des vaches grasses qu'une société qui suit les indications de la science marche nécessairement; elle peut hâter la venue de l'époque heureuse par une bonne administration assurée par le concours de tous.

Voilà, suivant moi, une véritable solution aux souffrances de l'agriculture; solution qui dépend d'une liberté complète dans l'action de chacun, et aussi dans la répartition aussi générale que possible d'une instruction suffisante, qui devrait concourir à faire que tous les éléments que je viens d'examiner successivement concordassent l'un avec l'autre. Il est évident qu'il faut que chacun comprenne son intérêt, et que chacun, en soignant ses intérêts, sache concourir au bien général; qu'il fasse prédominer celui-ci, et il verra aussi augmenter sa propre fortune.

Chacun de nous, dans l'année, peut rendre à l'agriculture à peu près le cinquième de sa consommation; c'est ce qu'un homme peut produire en engrais par lui-même. Ces matières, qu'on rend en une année à l'agriculture, pourraient fournir un cinquième de plus pour la consommation; les autres détritus doubleraient au moins ce produit, de telle sorte qu'on peut dire que l'agriculture aujourd'hui, dans l'état où elle est, perd, en France seulement, 40 millions d'hectolitres de blé, et que les autres nations, sans en excepter les plus avancées à cet égard, perdent au moins autant; voyez quel bienfait ce serait, si ces matières, qui sont toujours perdues sans aucun résultat, étaient employées dans notre pays.

On dit cependant, et l'on dira que ce que j'indique là est une solution générale qui n'est pas d'une application méthodique; que évidemment, on n'arrivera que peu à peu à une pareille situation; mais qu'il y a des souffrances actuelles, et qu'il faudrait donner un remède à ces souffrances en attendant qu'elles ne puissent plus se produire. C'est vrai, il faut songer à deux choses : c'est d'abord à empêcher le mal de revenir quand on l'a constaté, et je crois que je viens d'indiquer comment il faut s'y prendre pour que ce mal ne revienne jamais; et, de plus, il faut essayer, en attendant, de guérir les souffrances qui se présentent.

Mais si l'agriculture souffre aujourd'hui dans certaines localités, c'est parce qu'elle manque d'argent, parce qu'il y a un défaut d'équilibre entre les recettes et les dépenses. Il faut tâcher de lui donner de l'argent. Lui en donner, évidemment, c'est lui en prêter. Ce n'est pas toujours rendre un bon service que de prêter aux gens; mais enfin il le faut bien, quand il n'y a pas d'autre moyen de les tirer d'affaire. Il faut fonder le crédit agricole. Vous savez qu'il y a eu des institutions de crédit formées dans ce but. Seulement, on avait beaucoup attendu de ces institutions; elles ont donné peu : par réaction, on a dit qu'elles n'avaient rien donné du tout. C'est injuste, elles ont donné, mais pas encore assez. Il s'est formé, par exemple, une société de crédit agricole; elle a beaucoup prêté aux villes, un peu à l'agriculture; ainsi, si elle a prêté 300 ou 400 millions aux villes, elle a prêté 26 millions, ou à peu près, à l'agriculture.

On a dit que l'agriculture n'offrait pas, pour employer le terme technique, une surface commerciale suffisante, que les agriculteurs ne remboursaient pas exactement, que d'ailleurs ils n'avaient rien chez eux qui pût être comme le gage de la valeur des sommes qu'on leur prêtait. Eh bien, il est facile de répondre qu'on s'est trompé. On vient de publier, il n'y a pas longtemps, dans le *Moniteur*, l'estimation des récoltes faites depuis cinq ans; on peut calculer aussi la consommation qui a eu lieu pendant ce même temps. En tenant compte des importations de céréales qui ont été faites, et des exportations qui aujourd'hui sont plus considérables que les importations, on peut arriver à calculer approximativement le reliquat disponible, jusqu'au moment où l'on atteindra la prochaine récolte, reliquat qui est en excédant. En faisant ce calcul, et de la façon la plus modérée, je suis arrivé à trouver que nous avons un excédant en France de 50 millions d'hectolitres à peu près.

50 millions d'hectolitres à peu près, à 15 francs l'hectolitre, vous voyez que cela fait 750 millions de francs. L'agriculture, à laquelle on veut à peine prêter 26 millions, aurait donc, sur ce seul article, de disponible en excédant, 750 millions à offrir comme gage. Par conséquent on peut bien encore lui prêter, puisqu'on n'est pas encore au trentième de la valeur du gage, tandis que les plus mauvais Monts-de-Piété prêtent la moitié et le quart; il y a une marge bien suffisante pour les prêteurs les plus prudents, les plus timides.

Mais voici l'objection. Le blé est un gage qu'on ne peut transporter, et suivant la loi, il faut que celui qui prête puisse prendre possession du gage, pour se mettre à l'abri de toute éventualité. Il faudrait faire alors le prêt sur gage à domicile. Les jurisconsultes disent qu'il n'est pas possible, à moins de simuler tout au moins la transmission. La science est arrivée à résoudre le problème. En effet, le docteur Louvel a imaginé, ce qu'on avait nié d'abord être possible, — mais il a employé le concours de quelques hommes de science et de pra-

Digitized by Google

tique qui ont travaillé avec lui, et il a réussi, — il a imaginé, dis-je, de placer le blé dans une sorte de baril de tôle, et d'y faire le vide par une pompe; de mettre sur l'appareil un indicateur qui montrerait que le vide existe, et de le munir d'un robinet fermé à clef; cette clef pourrait être donnée à la personne qui prêterait sur le grain. Le blé serait désormais à l'abri de toute atteinte possible; on n'y pourrait pas venir toucher, car alors le vide disparaîtrait, l'air rentrerait aussitôt qu'on voudrait prendre du grain. D'un autre côté, plus de destruction intérieure dans ces sortes de *silos;* car les insectes qui attaquent le blé périssent dans le vide, de sorte qu'ils ne peuvent plus détruire le grain. Les greniers du docteur Louvel offriraient même une garantie contre la fermentation, qui ne peut pas se produire dans le vide. Cette invention réunit donc tous les principes d'une bonne conservation. On a, en outre, un vase qui ne coûte pas cher, qui peut rester dans la ferme, contenir le blé en tout temps, et par conséquent constituer un véritable gage pour celui qui prêtera à l'agriculture. Donc le crédit agricole est vraiment possible, car si l'on est arrivé à une solution pour le blé, on peut évidemment y arriver pour beaucoup d'autres substances.

Quand j'ai dit qu'il y avait en France, à l'heure qu'il est, un reliquat de 50 millions d'hectolitres, il est évident que je n'ai pu répondre de 5, de 10, de 15 millions d'hectolitres d'écart. En effet, il faut beaucoup se méfier des statistiques. Les statistiques du gouvernement, — et nous n'avons que celles-là, — laissent énormément à désirer. Ce n'est pas une critique que je veux faire, uniquement pour avoir le plaisir de critiquer, mais je vais vous donner une preuve flagrante de la justesse de mes paroles. Il y a eu pour les céréales deux statistiques en France, faites par deux bureaux différents du même ministère; elles concernent toutes deux l'année 1852. Les deux bureaux ont, il est vrai, publié ces statistiques à des époques assez éloignées l'une de l'autre. Ils eussent pu comparer les résultats de leurs calculs; mais ils n'en ont rien fait. Or voici les chiffres. Pour le blé seulement, l'une des statistiques dit qu'il y a 6 090 000 hectares ensemencés en blé; l'autre dit qu'il y en a 6 980 000; c'est une différence de plus du dixième. L'une dit que dans cette année 1852, il a été produit en France 86 millions d'hectolitres; l'autre dit 95 millions. Notez que, en présence de telles différences, les statistiques donnent les unités avec beaucoup de soin. Je me suis contenté de vous citer les millions. Le chiffre des millions étant faux, les statistitiens peuvent néanmoins prétendre que les chiffres des dizaines et des unités sont exacts!

Voilà comment sont faites les statistiques. Il est évident qu'il faudrait que des commissions supérieures pussent surveiller leur confection, déterminer le degré d'approximation, et faire à la fois deux recensements, par exemple, pour voir s'ils s'accorderont, en y faisant procéder par des personnes différentes. Il est incontestable qu'on a le plus grand intérêt à obtenir la vérité sur l'état du pays, et puisque ce n'est que d'après cet état qu'on peut juger si les mesures gouvernementales qu'on applique sont bonnes ou mauvaises, il faut faire en sorte que les statistiques soient bien faites; autrement ce serait comme si l'on admettait chez un commerçant que la comptabilité pût être fausse. Avant tout, un des besoins essentiels de cette époque serait donc qu'il y eût une commission supérieure de statistique, pour faire qu'on ait la vérité, là où aujourd'hui on ne sait pas s'il y a erreur, et si l'on peut tirer des chiffres accumulés la moindre conséquence exacte. Vous voyez donc, messieurs, que, aujourd'hui même, et pour résoudre la question que j'ai essayé de discuter devant vous, il manque trop d'éléments pour qu'on puisse être affirmatif. Voilà pourquoi ce n'était qu'avec une certaine réserve que j'avançais les chiffres que dans cette conférence je devais mettre sous vos yeux.

Il est évident que ce n'est que par le concours de tous qu'on peut arriver à faire disparaître les souffrances dont se plaint l'agriculteur. Il faut tout d'abord que le propriétaire s'intéresse à la culture de son champ, qu'il n'aille pas toujours dans les villes manger les rentes de ses terres; il doit cesser de dépenser follement en luxe inutile la subsistance des gens qui travaillent pour lui. Il faut qu'il y ait une association entre le propriétaire et l'exploitant, c'est-à-dire entre le capital et le travail; que tous deux coopèrent à l'œuvre; il faut en même temps que celui qui sait vienne apporter ses conseils et dire à chaque instant, si celui qui pratique est dans une bonne ou une mauvaise voie. Par conséquent, la solution réelle et définitive de tous ces grands problèmes, c'est le concours et l'association de toutes les forces productrices. C'est ce concours que j'appelle de tous mes vœux, et je pense que vous tous, messieurs, en sortant d'ici, emporterez un peu de la conviction qui m'anime, que vous redirez combien pourrait être fécond ce jeu de l'association générale de toutes les forces du pays pour le bien-être universel.

J. A. BARRAL.

CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS.

CHIMIE AGRICOLE (1).

COURS DE M. BOUSSINGAULT

(de l'Institut).

De l'alimentation.

Les principes nutritifs provenant du régime animal sont la chair et la graisse; celle-ci constitue la marbrure du tissu musculaire. Si l'on cherche quelle est dans la nature la destination des herbivores, on trouve que c'est de servir de nourriture aux carnivores; la chair de ceux-là contient à la fois l'aliment plastique : le muscle; et l'aliment respiratoire : la graisse; ces deux principes associés constituent un aliment complet qui permet aux carnivores de vivre exclusivement de chair.

La graisse ne se rencontre généralement que dans la chair des herbivores; il n'y en a pas en quantité appréciable dans celle des carnivores. Quoique le chien paraisse faire une exception, il n'en est pas une, car si les muscles contiennent de la graisse, c'est que cet animal a changé son régime et est devenu omnivore. A Mexico, on vendait des chiens engraissés avec du maïs, et à l'époque de la conquête du Mexique, les habitants n'avaient que deux sortes de viande de boucherie : celle de l'homme et celle du chien.

Dans l'alimentation normale, il faut toujours associer à l'aliment plastique un aliment respiratoire : par exemple, à la viande, le pain.

---

(1) Voy. les numéros 1, 2, 6, 8 11, 15, 21, 22, 23, 25, 28 et 29.

Digitized by Google

De la composition chimique et de la fabrication du pain.

	Pain blanc.	Pain bis.
Gluten et albumine	7,0	6,5
Amidon, dextrine	55,3	56,3
Matières grasses	0,2	0,2
Phosphates	1,0	1,0
Eau	36,5	36,0
	100,0	100,0

On a observé que la mouture française de 100 kilogr. de blé donne :

Farine de 1re qualité, pain blanc	66 kilogr.
— 2e — pain bis	8
Gros et petit son	23
Déchet	3
	100

La confection du pain se rattache aux phénomènes de fermentation. La farine du froment, pétrie avec de l'eau, produit une pâte compacte qui donne un pain très-lourd ; mais si à cette pâte on ajoute du *levain*, on obtient un pain plus agréable au goût et plus facile à digérer. Pour se procurer le levain on prélève une portion de pâte, à la fin de l'opération, on la laissse pendant sept à huit heures dans un endroit où la température est constante et douce. Pendant ce temps, la pâte augmente de volume et dégage une odeur alcoolique. Pour avoir la pâte qui doit se convertir en levain, on se sert de levûre de bière. Pour commencer la confection du pain lorsqu'on a pas de levûre, on abandonne pendant six à sept jours, à une température d'environ 30°, une pâte épaisse faite avec une poignée de farine; ensuite on la délaye dans 9 litres d'eau, dans laquelle on fait digérer à chaud 3 litres d'orge germée réduite en poudre. Ce mélange entre en fermentation et produit de la levûre. Alors on panifie de la farine et l'on a, en gardant une portion de cette pâte qu'on laisse fermenter, du levain pour l'opération suivante, et ainsi pour toujours.

Le levain renferme beaucoup de ferment; il détermine, en présence des matières sucrées contenues dans la farine, une légère fermentation, et donne naissance, entre autres produits, à de l'acide carbonique. Ce gaz emprisonné dans la pâte la gonfle et la rend poreuse; la cuisson augmente encore la porosité, car le gluten se laisse distendre par le gaz; ces cavités sont ce qu'on appelle les yeux du pain.

Les phases successives de la panification sont le *pétrissage*, la *fermentation* et l'*apprêt*. Pour procéder au pétrissage on ajoute au levain la quantité d'eau nécessaire à la préparation de toute la pâte, et l'on fait un mélange homogène dans lequel on introduit la quantité voulue de farine; ensuite la masse est travaillée dans le pétrin; puis elle est soulevée et abandonnée à son propre poids, afin d'y introduire de l'air. La pâte est mise ensuite en pâtons que l'on place dans un lieu où la température favorise la fermentation; c'est à ce moment qu'il faut surveiller cette fermentation qui, d'alcoolique, deviendrait acétique. Celle-ci pourrait liquéfier le gluten qui ne retiendrait plus le gaz; il y aurait un affaissement de la pâte, et l'opération serait manquée. Cette dernière phase de la fermentation est appelée l'apprêt. Enfin les pâtons n'ont plus qu'à être enfournés et cuits.

100 kilogr. de farine produisent.

Manutention militaire	133 à 137	kilogr. de pain.
Boulangerie de Paris	131 à 133	—
Gros pain de ménage	140 à 145	—

Le pain préparé avec de la farine de qualité inférieure n'a jamais cette blancheur dans la mie et cette nuance dorée dans la croûte qui caractérisent l'excellent pain. Comme on a constaté qu'une quantité très-faible de sulfate de cuivre communiquait de la blancheur au pain, certains boulangers en ont introduit dans des farines de qualité inférieure; la présence de ce corps n'est pas nuisible à la santé en proportions excessivement faibles; mais une distribution inégale pourrait être la cause d'accidents fort graves. Heureusement on connaît le moyen de découvrir cette sophistication. On a encore introduit dans le pain, pour le rendre plus blanc, de l'alun et du carbonate de magnésie.

Certains boulangers introduisent dans la fabrication du pain une proportion d'eau considérable et réalisent ainsi un bénéfice très-grand. On devrait surveiller cette fraude comme on surveille celle du lait, car alors le pain est moins nutritif. En moyenne, le pain tendre présente $\frac{4}{5}$ de mie et $\frac{1}{5}$ de croûte : la mie contient 45 et la croûte 15 pour 100 d'eau. On croit assez généralement que le pain tendre diffère du pain rassis par une plus forte proportion d'eau, et l'on attribue à une dessiccation progressive la consistance qu'il acquiert après qu'on l'a retiré du four. Comme conséquence, on admet que le pain est plus nutritif quand il est rassis, par la raison qu'à poids égal, il renferme plus de matières sèches. Mais nous avons démontré que le pain ne perd en vieillissant qu'une très-faible quantité d'eau, et que tout rassis, il ne reprend pas moins toutes les qualités du pain frais, si on le chauffe de telle sorte que la température de la mie monte à 70° degrés, et nous en avons conclu que ce n'est pas par une moindre proportion d'eau que le pain rassis diffère du pain tendre, mais par un état moléculaire particulier qui se manifeste pendant le refroidissement, se développe ensuite, et persiste aussi longtemps que la température ne dépasse pas une certaine limite.

Le pain contient, comme l'indique l'analyse, l'élément respiratoire et l'élément plastique, mais celui-ci y est contenu en trop faible quantité pour suffire à la nutrition; il faut y ajouter de la viande pour avoir une ration parfaite.

Pain consommé par jour à Paris.

Par jour et par tête	425 grammes.
— — pour un adulte	500

On consomme à Paris, par an, 2 564 228 quintaux de pain représentant 3 330 166 hectolitres de blé par an.

Le pain n'est pas un aliment indispensable; il y a des pays qui n'ont pas de blé, et dans ce cas, cet aliment respiratoire est remplacé par un aliment qui lui est équivalent, ainsi que l'indique le tableau suivant :

Europe	Blé, seigle.
Amérique	Maïs.
Asie	Riz.
Afrique	Millet.
Régions polaires	Graisse de poisson.

Étudions maintenant le développement de l'homme. Nous avons vu qu'un veau qui a consommé 50 kilogr. de lait a aug-

Digitized by Google

menté de 1 kilogr. de son poids. Voyons ce qui arrive pour l'homme dans la période d'allaitement :

Développement de l'homme.

	Age.	Homme. Taille. millim.	Homme. Poids. kil.	Femme. Taille. millim.	Femme. Poids. kil.
Allaitement.....	»	500	3,20	490	2,91
—	1 an.	698	9,45	690	8,79
Accroissement en...	1	198	6,25	200	5,88
—	par jour.	0005	0,17 gr.	0005	16 gr.

Une nourrice donne par vingt-quatre heures 600 grammes de lait, et au plus fort de la lactation 1300 grammes.

Développement de l'homme après le sevrage.

Age.	Taille. mètr.	Poids. kilogr.
1	698	9,45
10	1,275	24,52
20	1,674	60,06
25	1,680	62,93
40	1,684	63,67
90	1,613	57,83

Toutes les questions qui ont trait à l'alimentation ont été étudiées par les plus grands géomètres. Lagrange prétendait que 1 kilogr. de pain par jour représentait une quantité suffisante d'aliment, et il avait raison :

Dans un kilogramme de pain il y a :

Viande végétale sèche.	70 gr.	contenant	11,2 d'azote.
Amidon, graisse.....	565	—	284 de carbone.

L'homme brûle par jour en respirant de 230 à 240 grammes de carbone.

En ne tenant compte que de l'élément plastique, on est arrivé à ceci : c'est que 1 kilogr. de viande devait nourrir quatre fois plus que 1 kilogr. de pain; on a voulu donner 1/4 de kilogr. de viande pour remplacer 1 kilogr. de pain, le but était rempli quant à l'aliment plastique; mais quant à l'aliment respiratoire, 1/4 de kilogr. de viande ne contient pas une quantité suffisante de carbone; en effet, dans 1 kilogr. de viande il y a 140 grammes de carbone et 40 grammes d'azote; l'homme brûlant par jour 240 grammes de carbone, 1 kilogr. de viande ne suffirait même pas comme aliment respiratoire. Le régime alimentaire le plus convenable à l'homme est celui du soldat; on a fait un grand nombre d'expériences pour déterminer par jour la ration pour un homme.

Ration du soldat français (1844).

	grammes.		cent. cent.
Viande pesée crue....	285		20 à 70 le kil.
Pain de munition....	750	1kil. 066	21 à 28 id.
Pain de soupe.....	316		
Légumes frais.....	126		11
Légumes secs.....	202		06
Sel.....	29		01
Poivre.....	0,3		001
			591

Le soldat dépensait à cette époque 59 centimes par jour.

Ration des prisonniers travaillant :

Pain par jour.....	917 gr.
Légumes à l'huile ou au lard.....	120 gr.
Ou biscuits.....	700 gr.
Vin....	48 centil.

On a discuté toutes ces questions, et l'on est arrivé à exprimer l'aliment combustible en carbone et l'aliment plastique en azote.

Ration alimentaire de l'homme pour vingt-quatre heures en poids :

		Azote. grammes.		Carbone. gr.	Graisse. gr.
Soldat de marine.. ..	ration de	1978	contenant	25,2	472
Soldat hollandais.....	—	990	—	24,6	370
Soldat prussien.....	—	2010	—	23,7	363
Ouvrier français (Nord).	—	3740	—	31,3	794
Ouvrier anglais.....	—	2400	—	3,19	501
Ouvrier irlandais....	—	6848	—	18,5	689
Ouvrier indien.....	—	1090	—	10,8	?

J'ai vu, dans les États du sud de l'Amérique, donner aux esclaves, pour toute nourriture, de la mélasse et de la viande de porc. Dans cette alimentation, le sucre, riche en carbone, remplaçait le pain.

Il faut remarquer qu'une alimentation contenant à la fois l'aliment plastique et l'aliment respiratoire, en quantité voulue, ne suffirait pas pour entretenir la vie si ces éléments ne renfermaient pas eux-mêmes des principes minéraux.

Dans la viande on trouve { des sels de chaux. des sels de soude. des sels de fer.

Dans les feuilles on trouve { des sels de chaux. des sels de soude. des sels de potasse. des acides organiques.

L'élément minéral sert à la formation des os, qui se composent essentiellement d'une partie solide formée par des sels de chaux et d'un tissu organisé dans lequel se trouvent des vaisseaux et des nerfs. Les os contiennent surtout un phosphate tribasique de chaux et du carbonate de chaux.

Un physiologiste ayant nourri des animaux avec des graines qui ne contenaient pas de phosphate de chaux a vu se résorber tout le système osseux. Nous connaissons l'importance des sels de fer dans le traitement de l'anémie et de la chlorose; quant au chlorure de sodium, tous les peuples sont d'accord sur son utilité. Il serait difficile de manger de la viande sans sel pendant un certain temps, ceux qui ont été forcés de s'en nourrir ont éprouvé un sentiment de dégoût très-grand et leur santé s'est rapidement altérée.

Les sels de potasse du règne végétal sont des sels à acides organiques qui, détruits par le phénomène de la respiration, ont une action salutaire sur l'organisme.

Le régime alimentaire des marins a consisté pendant longtemps en viande salée; on remarquait alors que pendant les longs voyages ils étaient atteints du scorbut. Le capitaine Cook, frappé de la mauvaise santé de ses marins, fit introduire dans leur alimentation des substances végétales acides telles que citrons, oseille, etc.; et il vit disparaître les accidents. Et depuis on n'a fait que confirmer ce moyen excellent; c'est par une hygiène bien ordonnée qu'on garantit les marins du scorbut pendant les navigations les plus longues et les plus pénibles.

Dans les familles, en général, on ne s'occupe pas assez du régime alimentaire des enfants, on croit que le pain et la viande suffisent et constituent un régime salubre; c'est une erreur, il faut joindre, aussi, à ces deux substances, un aliment qui contienne des sels à acides organiques : des légumes verts, des fruits, par exemple. Les légumes secs, tels que pois, haricots, etc., ne contiennent pas de sels de potasse. On dit que le régime alimentaire le plus varié est aussi celui qui convient le mieux à la santé; c'est vrai : mais pourtant il faut avoir soin que cette alimentation renferme l'élément plastique, l'élément respiratoire, l'élément minéral, et enfin des sels de potasse à acide organique, tels que des molates, des tartrates, etc.

Digitized by Google

Lorsque les peuples sont arrivés à un certain degré de civilisation, ils ajoutent à leur alimentation des boissons alcooliques, dont l'usage est bon lorsqu'elles sont prises en petite quantité, et funeste dans le cas contraire. En effet, l'abus quotidien des alcooliques amène à la longue des troubles nombreux, tels que le *delirium tremens*, la folie, etc. Les différents peuples ont trouvé aussi des boissons qui sont excitantes sans avoir les inconvénients des boissons alcooliques; ce sont des infusions de thé, de café, de cacao, etc.

Le thé dont l'usage est si universel dans l'empire chinois, commença à être connu en Europe au XVIIe siècle, époque à laquelle il fut apporté par la compagnie hollandaise des Indes. En 1669, l'importation du thé en Angleterre ne dépassa pas 56 kilogr.; en 1833, elle était de 11 millions de kilogr.

L'arbre à thé atteint environ une hauteur de 2 mètres; en Chine, il fleurit dès le commencement du printemps et porte des graines en décembre et janvier. Ses branches sont recouvertes de feuilles courtes, épaisses, d'un vert foncé, et d'une forme elliptique. C'est une plante des plus vigoureuses et qui exige un climat humide, un sol léger et sablonneux. Cet arbre se propage par semis : on place plusieurs graines dans des trous creusés de manière à espacer les plantes à 1 ou 2 mètres. L'arbuste produit dès sa troisième année. La cueillette se fait à la main; on enlève les feuilles en ayant soin d'en conserver quelques-unes sur chaque branche. On fait jusqu'à trois récoltes par an, et la première donne le thé le plus estimé. Le thé renferme : 1° une huile volatile; 2° de la chlorophylle; 3° de la cire et de la résine; 4° de la gomme; 5° une matière extractive; 6° une matière colorante; 7° des substances azotées analogues à l'albumine; 8° du ligneux et des sels minéraux; 9° un principe cristallin particulier : la caféine, que l'on place parmi les alcalis végétaux et que l'on rencontre aussi dans le café. La caféine est cristallisable en aiguilles incolores d'un aspect soyeux et d'une saveur amère. Pour l'extraire, on verse dans une décoction chaude de thé un léger excès d'acétate de plomb, qui précipite le tannin et la matière colorante. On filtre à chaud et l'on évapore à siccité la liqueur filtrée. Le résidu de cette évaporation est mêlé avec du sable, et le mélange est placé dans l'appareil de sublimation qui sert à préparer l'acide benzoïque. On chauffe lentement, et bientôt de nombreux cristaux de caféine s'attachent au papier qui couvre l'appareil. La caféine est certainement le principe qui communique au thé sa saveur amère, et quelques-unes de ses propriétés. Les expériences ont prouvé que cette substance administrée seule et à dose assez forte ne produit aucune action fâcheuse sur l'économie animale.

L'usage de l'infusion du café paraît avoir été introduit en Europe au milieu du XVIe siècle. Maintenant la consommation du café dépasse en Europe 300 millions de kilogr. La plus grande partie vient de l'Amérique, et cependant il n'y a guère plus d'un siècle qu'il est cultivé dans le nouveau continent. Le cafier ne fleurit qu'à la seconde année qui suit sa plantation; il atteint, quand on le laisse croître, une hauteur de 7 à 8 mètres; mais on a soin d'arrêter sa croissance en l'écimant. Pour prospérer, le cafier demande des pluies fréquentes jusqu'au moment où la fleur commence à se montrer. Le fruit ressemble à une petite cerise : on juge de sa maturité par la couleur rouge de son épiderme, la mollesse et la saveur sucrée de sa pulpe. Dans l'intérieur de chaque cerise se trouvent deux graines de café; pour les extraire de la pulpe qui les entoure, on fait passer les fruits dans un moulin à cylindre, et on laisse tremper le café dans l'eau pendant vingt-quatre heures pour le débarrasser de la matière mucilagineuse qui est restée adhérente; ensuite on le fait sécher. Dans les plantations de Vénezuela, on expose les cerises au soleil, la pulpe fermente et les fruits se dessèchent; alors on leur fait subir deux triturations; l'une pour retirer les graines, l'autre pour détacher la coque qui enveloppe le grain : l'hectolitre de cerises rend ordinairement 40 kilogr. de café marchand. Le cafier donne des fruits jusqu'à l'âge de quarante ans environ. L'infusion du café agit plus énergiquement sur le cerveau que le thé; il excite l'intelligence et épanouit l'imagination. Pour les populations méridionales, il est presque un spécifique contre l'action débilitante des chaleurs. Le principe actif est la *caféine* que l'on extrait du café par un procédé analogue à celui que nous avons indiqué pour extraire cette substance du thé.

Le cacaotier existe à l'état sylvestre dans les forêts chaudes et humides de l'Amérique méridionale; plusieurs espèces atteignent une hauteur de 7 à 8 mètres, et chaque arbre produit une quantité de fruits considérable. Ce sont les Espagnols qui firent connaître le cacao en Europe, et cette production devint l'objet d'un commerce considérable. Cet arbre exige, pour se développer, une terre riche, humide et profonde, de la chaleur et de l'ombrage. Rien ne lui convient mieux qu'une forêt défrichée. Les fleurs de cet arbre sont très-petites et disproportionnées avec le fruit qui a la forme d'une gousse et une longueur de 25 centimètres. La couleur de l'épiderme varie du blanc jusqu'au violet. La chair du fruit est blanche, quelquefois rose. Les grains sont logés au nombre de vingt-cinq dans le fruit. Ces amandes sont blanches, huileuses, légèrement amères, en séchant elles prennent une teinte brune. On égraine les gousses et l'on fait sécher au soleil les amandes. 100 kilogr. d'amandes fraîches donnent de 45 à 50 kilogr. de cacao sec et marchand. Le cacao renferme : une matière grasse (beurre de cacao) 44 à 53 pour 100; de la gomme, 6 à 7; de l'albumine, 17 à 20, et une autre matière azotée spéciale, la *théobromine*, 2 pour 100; de l'amidon, 10; un principe colorant; de l'eau et des substances minérales. La théobromine est analogue à la caféine. Il est curieux de remarquer que les mêmes besoins ont fait trouver les mêmes substances chez des peuples différents.

H. Amaury.

MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE.

ZOOLOGIE
(Annélides, Mollusques, Zoophytes).

COURS DE M. LACAZE-DUTHIERS (1).

VIII

Organisation des Oursins.

Après vous avoir montré combien d'opinions différentes ont été émises par les auteurs sur la place qu'il convient d'assigner aux Échinodermes dans les classifications, nous sommes arrivés, dans notre dernière leçon, à conclure d'après l'exposé rapide des caractères généraux, que ce groupe est extrêmement naturel, si l'on en sépare ces êtres que Cuvier y

(1) Voyez les numéros 16, 18, 19, 22, 23, 28 et 29.

Digitized by Google

plaçait et que M. de Quatrefages en a éloignés pour en faire une classe à part, celle des Géphyriens. Nous avons pris ensuite une idée générale de leur organisation.

Jetant enfin un coup d'œil sur l'ensemble de tous les Échinodermes, nous y avons reconnu un certain nombre de types très-distincts. D'accord en cela avec tous les naturalistes, nous avons admis trois grandes divisions de premier ordre : les Holothurides, animaux mous, couverts de tubercules saillants ; les Échinides, à corps calcaire globuleux, couvert de piquants articulés mobiles comme des membres ; enfin, les Stellérides, dont le corps est toujours plus ou moins radié, en forme d'étoile.

Outre ces trois divisions principales, admises par tous bien que désignées parfois sous des noms différents, nous avons vu qu'il faut encore reconnaître dans les Stellérides trois subdivisions ou trois sous-ordres : les Crinoïdes, qui présentent un ou plusieurs appendices au pôle opposé à la bouche, appendices qui servent soit à faire avancer l'animal, soit à le fixer ; les Ophiurides, dont le corps est nettement distinct des divisions ou des bras ; les Astérides, dont les rayons larges à leur base se réunissent en angles, sans qu'on puisse les distinguer, à leur origine, de la masse des corps. Enfin, cherchant à caractériser chaque groupe par l'orientation de l'animal, nous avons encore trouvé dans la direction de l'axe du tube digestif des différences correspondant à des divisions naturelles de la classe des Échinodermes.

De Blainville, représentant graphiquement les divisions établies dans le groupe des Échinodermes, écrivait au sommet d'un triangle l'ordre des Échinides, considérant l'Oursin comme le représentant le plus caractéristique de la classe tout entière ; sur l'un des côtés du triangle, il plaçait les Holothurides qui passent aux Géphyriens et aux Annélides ; sur l'autre, il mettait les Stellérides, qui, par les Crinoïdes, semblent retourner aux Polypes. A son exemple, nous commencerons l'histoire naturelle des Échinodermes par l'étude de l'Oursin, et nous descendrons ensuite de ce type qui offre les caractères les plus saillants, d'une part à ceux qui se rapprochent des Annelés par leur symétrie oblique, et d'autre part à ceux qui par leur symétrie renversée faisaient, d'après les idées de de Blainville, le passage aux Polypes.

Vous savez, messieurs, comment il faut diviser l'histoire d'un animal : nous devrons successivement examiner comment l'Oursin se meut et se met en rapport avec le monde extérieur, comment il se nourrit et comment il se reproduit. Nous devrons, en d'autres termes, étudier les organes qui ont pour but la conservation de l'individu et la conservation de l'espèce, et ceux de la vie de relation, comprenant les fonctions locomotrice et sensitive.

Mais une première question se présente : comment faut-il placer l'Oursin pour le considérer dans sa position naturelle ?

On place d'ordinaire les animaux la bouche en haut : les Échinides au contraire se posent la bouche en bas, dans une symétrie renversée. Mais ce corps globuleux a-t-il une partie antérieure et une partie postérieure ? Peut-on lui considérer un côté droit et un côté gauche ? Ou bien, est-il indifférent de le placer dans un sens ou dans l'autre ?

M. Agassiz le premier a proposé de considérer ces animaux comme ayant une direction particulière. Nous allons voir sur quelle observation il s'est basé.

La face supérieure de l'animal est la partie bombée, celle correspondant à l'anus ; la face inférieure est la partie aplatie, celle correspondant à la bouche. Cette détermination est naturelle, et ressort de la simple observation de l'animal vivant ou du test lui-même. Mais si vous considérez ce *Cidaris*, vous verrez que les caractères du globe calcaire sont identiques sur toute sa surface ; tout semble présenter une disposition qui se répète. On voit alterner sur cette surface cinq espaces ou cinq bandes couvertes de tubercules, avec cinq autres bandes criblées de petits pertuis. Comment, avec cette similitude de caractères, distinguer sur ce globe un côté droit et un côté gauche, déterminer une face antérieure et une face postérieure ?

Avant de vous indiquer le détail d'organisation qui a permis à Agassiz de répondre à ces questions, il est nécessaire d'apprendre à bien connaître le test des Échinides : les caractères qu'il fournit sont très-nombreux, importants au double point de vue de la connaissance de l'organisation des Oursins et leur classification.

Au sommet de l'animal, au pôle supérieur ou anal, il est facile de voir une surface pentagonale sur laquelle du reste nous reviendrons. De chacun des angles de ce pentagone part, dans l'*Échinus lividus* que nous prendrons comme type dans notre description, une ligne brisée, qui rayonne en zigzag sur la surface du test, et descend comme un méridien vers la bouche. Ces cinq lignes limitent cinq espaces, que l'on peut nettement distinguer les uns des autres. Les détails d'organisation que chacun de ces espaces présente se répètent sur les autres ; il nous suffira donc d'apprendre à connaître l'une de ces cinq bandes rayonnantes du pentagone anal, pour connaître par cela même toute la surface du test.

Du sommet de chaque angle du pentagone part, avons-nous dit, une ligne brisée en zigzag ; mais de chacun des angles de ces lignes brisées partent des lignes secondaires perpendiculaires à la direction générale du méridien, parallèles par conséquent à l'équateur du globe calcaire que représente le test de l'Oursin. Comme chacun de ces cinq grands espaces est divisé en quatre parties par trois autres lignes brisées partant de l'intervalle de deux angles du pentagone supérieur, il s'ensuit que suivant une zone parallèle à l'équateur, deux lignes méridiennes primitives limiteront quatre plaques articulées.

Ces plaques sont les unes et les autres différentes. Les deux qui sont les plus externes relativement à la surface totale d'une des cinq parties du test portent des tubercules à piquants sur toute leur étendue ; les deux autres qui sont les plus internes, enfermées par les deux premières, portent des tubercules à piquants en dedans, et présentent en dehors des pertuis tubuleux, des pores par lesquels sortent les ambulacres, prolongements membraneux terminés en ventouses qui servent à l'animal pour se mouvoir et se déplacer.

Les plaques qui unies composent le test sont donc de deux ordres et déterminent deux zones : la *zone ambulacraire*, la *zone interambulacraire*, distinction de la plus grande importance pour les déterminations. Il ne faut pas confondre ces zones avec ce que l'on désigne sous le nom d'*aires ambulacraires* et d'*aires interambulacraires* ; car tandis qu'une zone est formée par l'alignement en une seule série parallèle au méridien de plaques d'un même ordre, une aire est formée par la réunion de deux zones de même ordre unies par voisinage. Dans un grand espace décrit plus haut, il y a donc quatre zones et deux aires.

La symétrie radiaire de l'Oursin étant représentée par le nombre cinq, on comprend qu'il doive exister dix zones et

Digitized by Google

cinq aires de chaque sorte sur toute sa surface. Nous aurions donc un total de vingt zones, et par conséquent, chaque ligne parallèle à l'équateur renfermera vingt plaques qui, alternativement deux par deux, seront couvertes de tubercules, ou perforées pour le passage des ambulacres.

La grandeur relative, les formes générales de ces plaques, et par conséquent des zones et des aires, varient beaucoup avec les espèces et fournissent de nombreux caractères pour la détermination.

Au total, la plus grande étendue du test de l'Oursin est formée de plaques à sutures particulières, qui s'engaînent les unes dans les autres.

Les deux pôles des globes calcaires en présentent aussi, de forme et de disposition toutes particulières. Les plaques qui rentrent dans la composition du pentagone supérieur ou anal ont été désignées sous le nom de *plaques apicales*, c'est-à-dire du sommet.

On appelle *plaques péribuccales* celles qui se trouvent portées sur la membrane qui entoure la bouche.

Toutes les autres ont été réunies par M. Desmoulins sous la dénomination commune de *plaques coronales*. Ce sont elles qui constituent les aires, c'est-à-dire l'ensemble du test, moins les plaques spéciales aux pentagones du sommet et du pourtour de la bouche.

Revenons maintenant à la question qui nous occupe, à la détermination de l'orientation exacte de l'Oursin. A ce point de vue, les plaques apicales ont une grande importance, et doivent être décrites particulièrement.

Au centre du pentagone du pôle supérieur, nous trouvons un orifice déjeté parfois un peu sur le côté : c'est l'anus. Immédiatement autour de cet orifice est une membrane circulaire, couverte en partie de plaques mobiles, pouvant se relever : ce sont les *plaques anales*. Puis nous trouvons cinq grandes pièces qui forment par leur sommet les cinq angles du pentagone dont il a été question plus haut. Chacune de ces cinq plaques présente un orifice auquel aboutissent les glandes de la reproduction, d'où le nom de *plaques génitales*. Avec elles alternent cinq autres plaques plus petites, rentrant aussi dans la composition du pentagone : ce sont les *plaques ocellaires*, ainsi nommées parce que chacune d'elles offre un pore dans lequel sont logés des éléments considérés comme formant un organe spécial du sens de la vision. Nous reviendrons du reste sur ces particularités.

Mais parmi les cinq plaques génitales, l'une est plus grande que les autres. Elle correspond à un angle du pentagone apical ; par conséquent il est évident, si vous tenez compte de la disposition générale du test que je vous ai exposée précédemment, que cette plaque correspondra par son sommet à une aire interambulacraire. En face d'elle, de l'autre côté du pentagone, se trouve forcément une aire ambulacraire ; car si d'un angle d'un pentagone régulier nous menons une diagonale passant par son centre, cette ligne tombera nécessairement sur le milieu de l'espace compris entre les deux angles opposés ; or, nous savons que les aires ambulacraires correspondent précisément à l'intervalle des angles du pentagone apical, et par suite aux plaques ocellaires, puisqu'elles alternent avec les plaques génitales qui déterminent les angles. Par conséquent en face de la grande plaque génitale, se trouve de l'autre côté du pentagone une aire ambulacraire.

M. Agassiz appelle *plaque madréporique* cette grande pièce calcaire du sommet, et il la considère comme devant servir de point de repère pour l'orientation exacte de l'Oursin. Pour lui, la série ambulacraire qui lui est opposée est antérieure, et par conséquent l'aire interambulacraire qui lui correspond est postérieure. Dès lors le côté droit et le côté gauche sont nettement déterminés ; d'après ce savant naturaliste, le côté droit serait même plus développé que l'autre. L'animal aurait une tendance à progresser suivant la direction indiquée par cette détermination, une série ambulacraire en avant, et l'aire interambulacraire correspondant à la plaque madréporique en arrière.

Ainsi donc, en prenant cette grande plaque du sommet comme point central d'orientation, il est possible de déterminer dans un Oursin une face antérieure, une face postérieure, un côté droit et un côté gauche. A la face antérieure correspond une aire ambulacraire, à la face postérieure une aire interambulacraire, et sur chacun des côtés se trouvent deux aires de chaque ordre.

Arrivons maintenant à l'examen de l'extrémité inférieure ou du pôle buccal. Cette partie du test a une grande importance en raison de ses rapports directs avec la bouche.

Les dernières pièces coronales circonscrivent à la région péribuccale un grand espace pentagonal. Sur le bord interne ou supérieur de l'anneau calcaire qui limite ainsi la portion buccale, s'élève, vers l'intérieur, une sorte de bourrelet en ceinture ; ce bourrelet porte dix prolongements qui, se réunissant deux à deux par leur extrémité supérieure, forment cinq proéminences en anneaux irrégulièrement triangulaires qui remontent dans la cavité générale et sont nommés *auricules*. Ces cinq auricules s'élèvent en face des aires ambulacraires : un méridien qui partirait de leur sommet et remonterait vers le pentagone apical aboutirait donc aux plaques ocellaires.

La grande ouverture buccale du test est fermée par une membrane qui offre elle-même un orifice bordé par des lèvres entre lesquelles font saillie les *dents*, parties de l'appareil masticateur que nous allons bientôt connaître.

Telle est la disposition générale du test. Il était nécessaire de commencer par là pour pouvoir étudier les rapports des autres parties. L'enveloppe calcaire des Échinides est, en effet, le point de départ nécessaire de l'étude de leur organisation ; il faut avoir sa composition bien présente à l'esprit, car elle va nous fournir les points fixes auxquels nous devrons rapporter tout ce qu'il nous reste à décrire.

Comment se nourrit l'Oursin ? Quels sont les organes de la digestion chez les Échinides ?

Nous savons déjà comment apparaît l'orifice buccal. Une membrane ferme l'ouverture pentagonale du test ; au centre, les dents forment en se réunissant une sorte de cône aigu qui fait saillie au dehors.

La membrane buccale est couverte de petites plaques calcaires. Dix de ces plaques, plus grandes que les autres, sont disposées en cercle autour de la bouche ; elles sont percées d'un orifice par lequel sort un ambulacre. Ces plaques buccales sont très-évidentes dans cet *Echinus lividus*, si commun sur nos côtes et qui nous sert de type dans cette démonstration.

On observe encore autour de l'orifice buccal des ambulacres et de petits appendices connus sous le nom de *pédicellaires*; nous étudierons plus loin ces organes d'une façon générale, et nous signalerons alors les dispositions spéciales qu'ils peuvent présenter au pourtour de la bouche ; ces particularités, du reste, ne sont point telles qu'on n'y retrouve la forme et la

Digitized by Google

structure des ambulacres et des pédicellaires des autres régions du corps.

Les organes de la digestion offrent, dans les Échinides, deux parties à étudier : d'abord l'appareil masticateur, ou *lanterne d'Aristote*, puis le tube digestif lui-même. Voyons donc successivement la structure et la disposition de ces deux appareils.

Lanterne d'Aristote. — On éprouve un véritable étonnement à rencontrer un appareil aussi complexe que celui-ci dans des animaux aussi inférieurs que le sont les Oursins. C'est la première fois que nous trouvons des organes spéciaux à la mastication des aliments, et ces organes nous présentent, en quelque sorte d'emblée, une complication des plus remarquables.

L'appareil dans son ensemble représente un cône renversé, ou mieux une pyramide à cinq pans, dont la base s'enfonce dans l'intérieur de la cavité du test, et dont le sommet fait saillie au dehors. Du centre de la base s'échappe l'œsophage qui commence l'intestin.

Ce cône est formé par la réunion de cinq ordres de pièces calcaires désignées sous des noms différents; chacun de ces ordres renferme cinq parties semblables, ce qui fait un total de vingt-cinq pièces pour la composition de l'appareil dans son ensemble. Toutes ces parties sont symétriquement disposées autour d'un axe vertical central. On les désigne sous les noms de *pyramides*, *compas*, *faux*, *dents* et *plumes*. Voyons successivement chacune de ces parties dans sa composition et ses rapports avec les parties voisines.

Les *pyramides* par leur réunion constituent en quelque sorte la charpente de l'appareil masticateur dont elles déterminent la forme. On a beaucoup compliqué leur description, mais on peut en réalité se rendre facilement compte de leur disposition.

Supposez une pyramide triangulaire creuse, dont un des angles ne serait point fermé et vous reproduirez la forme générale de cette partie de la lanterne d'Aristote. C'est donc une pièce creuse, présentant trois faces, une base et un sommet. La base est supérieure ; le sommet est inférieur.

Des trois faces, l'une est externe : elle est légèrement convexe et limite en dehors l'appareil masticateur. Les deux autres se dirigent vers le centre de l'appareil en convergeant l'une vers l'autre, mais sans se rencontrer. Ces deux faces sont planes, striées pour l'insertion de muscles.

Les deux angles fermés de cette pyramide sont mousses, légèrement arrondis. Le troisième angle, avons-nous dit, n'est point fermé ; il en résulte la présence de ce côté de deux arêtes saillantes ; ces arêtes sont finement dentées : chacune de ces dents correspond à une strie de la surface externe.

Il est très-facile de se figurer la disposition de cette première pièce. Prenez un triangle de papier, ployez-le de manière à en former une pyramide à trois pans, mais sans en souder les bords que vous rapprochez, et vous aurez une idée très-exacte de ce qu'est la pyramide dans l'appareil masticateur des Oursins.

Nous savons qu'il y a cinq parties semblables dans l'appareil entier : quels rapports affectent-elles entre elles ?

Leur surface convexe est externe; leurs surfaces striées convergent vers un axe vertical passant par le centre de la lanterne. Dès lors on comprend que les surfaces striées doivent se correspondre, mais elles sont maintenues à distance les unes des autres par une pièce que nous décrirons bientôt, la *faux*.

Nous avons donc dès maintenant une idée générale de la disposition de l'appareil masticateur, puisque nous connaissons la structure et les rapports entre elles des cinq grandes pièces qui déterminent sa forme et desquelles toutes les autres pièces doivent être rapprochées. Cette disposition en résumé est fort simple. On peut ajouter à cela une foule de particularités, décrire ici une échancrure, là un bourrelet ; mais ces détails importent peu et ne peuvent qu'embarrasser dans l'étude de cet appareil assez compliqué déjà.

La face interne de la cavité de la pyramide offre à l'opposé de la suture incomplète des bords internes, sur la lame moyenne ou externe, un sillon qu'il est important de signaler : c'est le *sillon dentaire*, qui reçoit et supporte en la fixant une deuxième pièce calcaire, la *dent*.

Cette deuxième pièce se compose de deux parties décrites sous deux noms différents : la *plume* et la *dent*. C'est une tigelle calcaire, très-dure à son extrémité inférieure qui est aigue et fait saillie au milieu de la membrane buccale. Cette tigelle à sa face externe est légèrement convexe : cette disposition fait qu'elle s'adapte parfaitement au sillon concave que je vous ai dit exister à la face interne de la lame moyenne de la pyramide. A sa face interne, elle présente une saillie ou un renflement en carène qui s'observe dans presque toute sa longueur.

L'extrémité supérieure de cette tigelle est recourbée; plus délicate, elle semble formée de fibres comparables, jusqu'à un certain point, aux barbules d'une plume ; de là le nom spécial donné à cette partie de la dent.

Les rapports de la dent avec la pyramide sont tout à la fois simples à établir et importants à connaître. Elle glisse dans le sillon de la face externe de la pyramide, avec laquelle elle semble articulée.

Si l'on regarde de profil une pyramide, on voit la plume dépasser sa base et se recourber en dedans ; la dent proprement dite dépasse le sommet, et c'est la réunion de ces cinq points inférieurs qui forme le petit cône saillant au centre de la membrane buccale. Il est très-facile de comprendre ce rapprochement des dents, si l'on se rappelle que les faces striées des pyramides se juxtaposent de façon à réunir les sommets et les bases de ces cinq pièces et à constituer la charpente de la lanterne.

Cependant cette juxtaposition des lames striées des pyramides n'est pas immédiate : ces cinq parties de l'appareil masticateur sont tenues éloignées les unes des autres par l'interposition à leur base d'une quatrième pièce, la *faux*.

La *faux* est une pièce irrégulièrement quadrilatère ; son bord interne, celui qui est situé vers l'axe central de la lanterne, est plus étroit que son bord externe. La *faux* correspond à la base des pyramides avec laquelle elle est articulée.

Enfin, vue de profil, la *faux* semble entaillée et recourbée en bas : de là son nom.

Enfin, une cinquième pièce, le *compas*, courbée quand on la regarde de profil, peut être comparée à un Y dont la fourche serait tournée en dehors; cette pièce couvre la base ou la partie supérieure de la faux.

Chacune des branches externes du compas donne attache à un ligament décrit sous le nom de *ligament oblique externe*; ce ligament va s'insérer en bas dans l'intervalle qui sépare deux auricules.

Entre le compas et la faux et les deux pyramides qu'ils réunissent, se trouve un autre ligament, le *ligament interne*.

Digitized by Google

En résumé, la lanterne d'Aristote est formée :

1° De cinq grandes pièces, véritables *pyramides* triangulaires creuses et ouvertes par leur angle interne; leur base est supérieure, leur sommet inférieur.

2° De cinq tigelles calcaires aiguës et résistantes en bas où elles prennent le nom de *dents*, striées et recourbées à leur partie supérieure où elles forment ce que l'on appelle la *plume*; ces tigelles sont mobiles et glissent dans une gouttière creusée à la face interne de la lame moyenne ou externe des pyramides.

3° De cinq pièces recourbées en *faux*, irrégulièrement quadrilatères, qui séparent, par leur interposition à la base de la lanterne, les faces latérales ou striées des pyramides.

4° Enfin de cinq pièces en forme d'Y, les *compas*, qui recouvrent la base des faux et dirigent en dehors leurs fourches sur chaque branche desquelles s'insère un ligament.

Toutes ces parties ainsi en rapport sont mises en mouvement par des muscles. Je ne puis entrer ici dans de grands détails à leur sujet; pareille étude nous conduirait trop loin. Cependant il faut savoir que l'on décrit trois ordres de muscles plus importants.

Ce sont d'abord les *muscles interpyramidaux*. Ils s'insèrent aux stries des faces latérales des pyramides. Ils ont pour but de rapprocher ces grandes pièces qui sont comme les mâchoires des Échinides, et sont comparables à des masséters.

Les *muscles arcaux* s'attachent aux pyramides d'une part, aux auricules de l'autre. En rapprochant les pyramides des auricules, ils dilatent la bouche et écartent les dents.

Enfin les *muscles interarcaux* sont des muscles masticateurs; comme les muscles interpyramidaux, ils rapprochent les pyramides.

Tel est cet appareil certainement fort complexe dont l'analyse semble parfois si difficile. On voit, en fin de compte, que l'étude de sa composition, les rapports de toutes ses pièces étant bien connus, est plus simple qu'on ne le croit.

Un mot encore avant de passer à la description du tube digestif, sur les rapports de cet appareil masticateur avec l'enveloppe immobile de l'Oursin ou le test. Le compas et la faux correspondent aux auricules et, par conséquent, aux zones ambulacraires. Les pyramides et les dents correspondent aux zones et aires interambulacraires.

Tube digestif. — Le pharynx est entouré par les organes masticateurs.

L'œsophage lui fait suite; il a une direction verticale qui permet de le distinguer du reste du tube digestif; il est d'ailleurs plus étroit et peut être limité en haut par le point où l'intestin commence à se dilater.

Bien que certains auteurs aient décrit au tube digestif d'autres parties distinctes correspondant à des parties analogues du tube digestif des animaux supérieurs, pareilles distinctions sont difficiles à reconnaître.

L'intestin est appendu au test par des filaments et des membranes mésentéroïdes, que l'on n'observe pas dans toute sa longueur, mais seulement en face des aires interambulacraires. Sa marche, dans l'intérieur de la cavité générale, est facile à déterminer.

Il fait deux grandes circonvolutions, l'une supérieure, l'autre postérieure. Partant de la partie supérieure de l'œsophage, il se dirige d'abord à droite et en avant, puis, se repliant, marche vers la gauche, en suivant la circonférence du test. Revenu à droite, il rebrousse encore chemin et commence sa deuxième circonvolution ou sa circonvolution supérieure, dirigée encore de droite à gauche, mais en sens contraire de la première, c'est-à-dire d'avant en arrière à son point de départ. Revenu enfin à son point de départ à droite et en avant, il se relève et vient se terminer à l'anus.

La marche de l'intestin dans ses circonvolutions n'est pas directe; il décrit des arcades dont la concavité est tournée du côté des zones ambulacraires. En ces points, il n'est pas adhérent au test et ne présente point de membranes mésentéroïdes. Au niveau des zones interambulacraires, l'intestin tourne sa convexité en dehors; en ces points seulement il adhère au test. Comme nous savons qu'il fait deux fois le tour de la cavité générale, il est évident, par conséquent, qu'il doit présenter en dehors dix arcades concaves par rapport à l'axe du test, et en dedans dix arcades convexes: les premières correspondent aux aires ambulacraires, les secondes aux aires interambulacraires.

L'intestin des Échinides est d'une grande délicatesse, vu la faible épaisseur de ses parois. Il présente, dans sa composition, une couche d'éléments colorés renfermant des cellules qui, bourrées de granules, semblent être des organes de sécrétion particulière. Sa face interne est tapissée par un épithélium vibratile, qui recouvre aussi les replis mésentériformes.

L'anus, ouvert au pôle supérieur du test, est entouré de pièces calcaires parfaitement distinctes, capables de se relever. L'étude de leur forme et de leur disposition conduit à des caractères qui sont souvent invoqués dans la classification.

Organes de la respiration. — On peut diviser en deux ordres les organes respiratoires : les uns sont péribuccaux et externes, les autres sont internes.

Les premiers sont décrits sous le nom de *branchies externes*. Elles ont été signalées par Delle Chiaje; Valentin et M. Von Siebold leur attribuent un rôle dans la respiration des Oursins.

Ces branchies sont au nombre de dix, alternant par paires avec les zones ambulacraires; elles sont disposées sur le pourtour de la membrane péribuccale.

Elles ont l'apparence de barbules rameuses sur un côté; elles sont tapissées de cils vibratiles et parcourues par des vaisseaux sanguins.

Les organes respiratoires internes, admis par Valentin et M. Von Siebold, semblent jouer un rôle plus important encore.

Si l'on regarde par la face interne le test d'un Oursin vivant, les aires ambulacraires apparaissent couvertes de lamelles membraneuses d'une disposition particulière qui ne permettent d'apercevoir que les pores les plus externes de la rangée.

Ces lamelles horizontales, d'un tissu mince et délicat, sont, en réalité, des petites cavités membraneuses en forme de sacs. Elles viennent s'ouvrir dans un canal de structure analogue qui suit dans toute sa longueur l'aire ambulacraire à laquelle il est accollé. Dans les parois de ce canal, les auteurs décrivent un vaisseau branchial longitudinal, auquel aboutissent les vaisseaux de chacun des feuillets ou des sacs latéraux qui s'en éloignent comme les barbes d'une plume.

Ces feuillets et ce canal sont creux, et communiquent directement avec la cavité des ambulacres à travers les pores du test dont l'ensemble forme les aires ambulacraires.

Mais d'abord que sont les ambulacres auxquels on veut faire jouer un rôle spécial dans la fonction de la respiration?

Digitized by Google

Ce sont de longs tubes membraneux terminés par des ventouses discoïdes, qui semblent sortir de la cavité à travers les pores du test pour servir à l'animal de moyens de locomotion et d'organes du toucher. Nous voyons qu'on leur attribue encore une autre fonction.

Il y a, à propos des noms mêmes que nous employons, une confusion qu'il faut signaler.

Les zoologistes appellent *ambulacres* les zones ou les aires formées par la réunion en séries longitudinales de ces pertuis qui criblent le test de l'Oursin. Cette expression ainsi appliquée est fautive, car le mot, dans son sens réel, veut dire organe locomoteur.— Les anatomistes, au contraire, donnent ces noms aux tubes membraneux que nous allons décrire et qui servent réellement à la locomotion des Échinides. C'est ainsi que nous entendrons et qu'il faut entendre le mot ambulacre, réservant le nom de séries, d'aires ou de zones ambulacraires aux rangées des pores de la surface du test.

Il y a deux choses à décrire dans un ambulacre : le tube et l'extrémité, en d'autres termes, le pédoncule et la ventouse.

La ventouse, ou capsule supérieure, offre dans sa structure des particularités remarquables. Elle est formée de tissus mous et de pièces calcaires ; celles-ci constituent deux parties distinctes sous les noms de *rosace* et de *cadre*.

La *rosace* est un assemblage de pièces calcaires qui, par leur réunion, forment, en effet, une sorte de rosace. Ces pièces calcaires sont ordinairement au nombre de cinq ; quelquefois on n'en compte que quatre.

Cette partie de la ventouse est la plus extrême; elle est seulement recouverte par le tissu mou qui enveloppe toutes ces parties dures.

Le *cadre* est ordinairement formé d'une seule pièce irrégulièrement circulaire; il est placé sous la rosace de façon à lui servir de soutien. Aussi, en regardant une ventouse de face, voit-on le plus souvent par transparence le cadre au travers de la rosace.

Ces deux parties calcaires sont placées au milieu des tissus mous de la ventouse, qui présente à son centre un pertuis par lequel l'eau peut pénétrer dans l'intérieur de l'ambulacre.

Cette ventouse termine la *tigelle* ou le *pédoncule*. Cette partie allongée présente une texture musculaire évidente. Valentin a vu des vaisseaux dans l'épaisseur de ses parois, mais il n'a pu y trouver des nerfs.

Au centre de cette tigelle existe un canal qui se remplit d'eau pendant la vie de l'Oursin et que l'on peut facilement gonfler par le mercure. Ce canal se prolonge jusqu'au pore du test et s'ouvre au milieu de la ventouse. Comme le pore ambulacraire s'ouvre lui-même dans la cavité des lamelles dites *branchiales internes*, une communication se trouve établie par les ambulacres, organes locomoteurs canaliculés, entre la cavité de ces branchies et l'eau ambiante.

Si l'eau pénètre dans ces lamelles et ces vésicules internes qui reçoivent du sang par des vaisseaux très-manifestes, il est évident qu'il est possible de trouver là des conditions d'hématose; dès lors les auteurs sont en droit de conclure que ces lamelles ou ces vésicules sont réellement des organes internes de respiration.

En signalant tantôt, sur la membrane péribuccale, la présence d'ambulacres, je vous ai dit qu'ils présentaient là quelques particularités distinctives. Ces différences peuvent se résumer de la manière suivante : le cadre semble manquer, la rosace est moins régulière, et souvent quelques-unes de ses pièces font défaut; enfin, dans l'épaisseur de leurs parties molles, on trouve des spicules ou parties calcaires d'apparences variables, rappelant parfois certaines formes que présentent les spicules des Éponges et des Holothuries.

M. Milne Edwards a émis un doute sur l'existence des canaux décrits par les auteurs au centre des ambulacres, ou plutôt sur l'existence de l'orifice central de la ventouse. Il se demande si c'est réellement l'eau qui pénètre dans les branchies internes, si le sang ne pénétrerait pas plutôt dans les ambulacres pour les gonfler et emprunter ainsi à l'eau, à travers leurs parois, des éléments de respiration. Il serait donc peut-être utile d'entreprendre sur ce sujet de nouvelles recherches; mais je dois vous faire remarquer que M. Von Siebold admet la théorie et les observations de Valentin, à l'opinion duquel se range également M. Agassiz.

Appareil de la circulation. — Il est peu distinct, d'après Cuvier. Cependant des recherches plus récentes semblent avoir démontré qu'il est plus développé que l'auteur du *Règne animal* ne l'avait indiqué; sur ce point, du reste, il existe encore bien des incertitudes.

Voici quelle semble être la disposition de cet appareil.

On décrit deux ordres de vaisseaux, les uns veineux, les autres artériels. A la terminaison de l'intestin, vers l'anus et à son origine, au pourtour de l'œsophage, on observe deux cercles doubles formés d'une artère et d'une veine. Ces deux anneaux sont mis en communication par deux vaisseaux, accolés à l'intestin dans toute sa longueur : on peut donc décrire une artère et une veine intestinale. Sur le trajet de l'artère, au voisinage de l'œsophage, est une dilatation, une ampoule, c'est le cœur. De l'anneau supérieur ou anal partent cinq vaisseaux de chaque ordre qui se distribuent aux branchies internes; de même l'anneau périœsophagien envoie des vaisseaux qui se rendent aux différentes parties de l'appareil masticateur.

Ceci posé, on peut facilement déterminer théoriquement le mouvement circulatoire.

Prenons le sang dans les branchies internes. Une veine venant du cercle veineux anal l'y a apporté ; une artère le ramène au cercle artériel correspondant. De là une partie du liquide nourricier va aux organes génitaux, la plus grande masse descend dans l'artère intestinale qui le porte au cœur.

Du cœur il est poussé dans la lanterne d'Aristote; il revient par des veines au cercle veineux œsophagien et de là remonte dans la veine intestinale, arrive au cercle veineux anal; dans cet anneau s'abouchent également les veines qui rapportent le sang des glandes génitales, et de là partent les vaisseaux qui ramènent enfin aux branchies internes, pour le revivifier, ce fluide devenu impropre à la nutrition.

Telle est la théorie de la circulation dans les Oursins. C'est, comme le dit Valentin lui-même, une hypothèse sans aucun fondement, sans aucune démonstration absolue, mais que ses observations l'autorisent à croire vraie. M. Von Siebold admet cette théorie. Quant à M. Milne Edwards, il fait à ce sujet les plus grandes réserves. Il est, en effet, fort difficile de faire des injections dans ces animaux, car on ne peut observer leur organisation sans briser leur test et sans blesser leurs organes.

Il y a donc des doutes à élever sur l'existence de ce procédé simple de circulation si clairement exposé par Valentin.

L. Hallez.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE NUMÉRO 32 7 JUILLET 1866

Paris, 6 juillet 1866.

Parmi les communications faites lundi dernier à l'Académie des sciences, nous signalerons particulièrement une note de M. Cahours sur les densités de vapeur présentée par M. H. Sainte-Claire Deville, qui dit quelques mots à cette occasion, sur la question des densités de vapeur anomales, c'est-à-dire sur les corps dont l'équivalent représente huit volumes de vapeur. Les travaux qu'il accomplit en ce moment sur le perchlorure de phosphore, l'un de ces corps, tendraient à faire croire qu'à la température à laquelle on détermine la densité fixe de cette vapeur, elle se trouve en dissociation et ne représente plus en réalité qu'un mélange de chlore et de protochlorure de phosphore. M. Regnault voudrait que l'on déterminât les densités des vapeurs par l'étude du coefficient de dilatation de ces vapeurs, et il voit là un moyen de trancher la grande question qui divise actuellement les chimistes.

M. Frankland (de Londres) a été élu correspondant dans la section de chimie par 28 voix sur 35 suffrages.

M. Alphonse de Candolle a rendu compte en quelques mots des travaux du congrès international de botanique qui vient d'être tenu à Londres sous sa présidence, et qui comptait plusieurs centaines de personnes. Au congrès était annexé une exposition d'horticulture fort brillante. On trouvera plus loin le discours prononcé par M. Alphonse de Candolle à l'ouverture du congrès.

E. A.

MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE.

PHYSIOLOGIE COMPARÉE.

COURS DE M. VULPIAN (1).

Leçon d'ouverture. — De la digestion.

La digestion, que nous allons cette année étudier devant vous, est un des principaux stades de ce grand phénomène que Lavoisier a le premier si bien caractérisé, et qui constitue le passage de la matière inorganique au travers du monde organisé. Nous avons l'an dernier décrit les voies et moyens par lesquels l'aliment était transporté dans tout l'organisme. Nous vous avons montré cette circulation conduisant partout le liquide réparateur; aujourd'hui nous allons commencer l'étude de cette partie importante de la nutrition qui vous montrera l'aliment pénétrant dans l'organisme, et les divers phénomènes qui en favorisent l'absorption. Mais auparavant il convient de jeter un coup d'œil général sur les phénomènes de la vie chez les êtres organisés et de voir à quelles nécessités physiologiques répond la digestion chez les animaux.

Pendant la durée de la vie des êtres organisés, de nombreux phénomènes se manifestent, dont les uns sont communs aux animaux et aux végétaux, et sont réunis sous le nom d'actes de la vie organique ou végétative, et dont les autres se manifestent surtout, sinon exclusivement, chez les animaux; ce sont les actes de la vie animale ou de relation.

Les phénomènes de la vie végétative tendent, pour ainsi dire, vers différents buts que je dois énumérer. D'abord le développement de l'être, puis son accroissement jusqu'à une limite marquée d'une façon à peu près invariable pour chaque espèce. Une fois qu'il a atteint cette limite, il lui faut, pendant un temps variable aussi suivant l'espèce, mais également préfixe, résister à toutes les causes d'altération dont il est entouré ou qu'il porte en lui-même, et assurer ainsi le maintien de la forme typique, liée par une indissoluble nécessité à son existence même. Enfin dans ce même groupe il faut ranger, mais reléguée au dernier plan, la reproduction, qui assure non plus le maintien de l'individu, mais la conservation de l'espèce.

A côté de ces actes de la vie végétative, il y a les actes dits de la vie animale, lesquels, dans leur plein développement, appartiennent exclusivement aux animaux, et qui sont constitués par la sensibilité, le mouvement spontané, les phénomènes d'innervation centrale.

Ces derniers actes doivent occuper le second plan, les premiers seuls sont communs aux animaux et aux végétaux, seuls ils sont constants, continus, nécessaires, ce sont eux qui caractérisent le mieux la vie. Si l'on en excepte la reproduction, on peut dire que la vie réduite à sa plus simple expression consiste dans les phénomènes suivants : se développer, c'est-à-dire ébaucher la forme typique ; s'accroître, pour réaliser complétement cette forme avec ses caractères divers, et, enfin, la maintenir inaltérée pendant un certain temps.

Il ne faut pas aller au delà et demander une notion plus approfondie, celle de la cause. C'est pour avoir interrogé ainsi l'inconnu qu'on a été conduit à cette entité métaphysique que l'on a désignée sous le nom de principe vital. Ces mots pour le physiologiste ne représentent plus rien de réel, ils

(1) Voy. dans la 1re et la 2e année un cours *in extenso* (37 leçons) de M. Vulpian *sur la physiologie du système nerveux*.

Digitized by Google

n'ont aucun sens pour quiconque a réfléchi. Le mot *vie* lui-même n'est qu'une abstraction collective, qui devient vide de sens dès qu'on cesse de la considérer ainsi.

Nous ne voyons dans les phénomènes vitaux qu'une série de phénomènes enchaînés les uns aux autres tout aussi fatalement que les phénomènes du monde inorganique, et nous nous habituons de plus en plus à les considérer comme des résultats de transformations particulières de modes d'activité semblables à ceux que la physique étudie dans le monde inorganique.

La composition particulière de la substance organisée, les mutations moléculaires incessantes dont cette substance est le théâtre, sont sans doute les causes qui font que les manifestations dues à ces métamorphoses dynamiques de l'activité de la matière sont différentes de celles qui se produisent dans le monde inorganique ; mais c'est là tout ce que nous pouvons en dire. La cause nous échappe, et les phénomènes vitaux seuls nous sont tangibles. Nous savons que ces phénomènes ne peuvent se manifester qu'au sein d'une matière spéciale, de composition complexe que nous nommons la substance organisée.

Tantôt cette substance se présente à nous à l'état amorphe, c'est-à-dire sans structure qui soit caractéristique ; tantôt, comme dans le sang, la lymphe, c'est un liquide ; enfin, d'autres fois, ce sont des éléments anatomiques figurés et parfaitement définis, comme la fibre musculaire, la fibre nerveuse, etc.

D'autre part, nous savons que la vie n'apparaît dans la substance organisée, et ne s'y entretient, que sous l'influence d'excitations extérieures. Au début une impulsion particulière lui est donnée par l'imprégnation séminale ; à ce moment déjà il faut une excitation extérieure, et le développement ne peut avoir lieu que si le germe se trouve, soit directement, soit par l'intermédiaire de sa mère, en rapport avec l'excitateur par excellence : l'air. Mais plus tard, lorsque l'être vivant accomplit sa période d'accroissement, il lui faut un conflit incessant avec le monde extérieur; alors il emprunte son excitation aux milieux cosmiques et à l'atmosphère.

Ainsi nous voyons se dégager de ces considérations générales l'idée de la nécessité de la respiration. Par cette fonction, les animaux puisent dans l'air ambiant l'oxygène qui joue le rôle d'excitateur, et qui, une fois absorbé, va exercer partout son action excitatrice. Jamais nécessité physiologique n'a été mieux démontrée. Je ne veux pas vous énumérer les éléments de cette démonstration. Je me contenterai de vous rappeler les phénomènes de l'asphyxie. Non-seulement le conflit du corps vivant avec l'oxygène est indispensable à la vie de l'individu, mais ses divers éléments anatomiques ne peuvent conserver leurs propriétés physiologiques, et, par conséquent, concourir aux diverses fonctions qu'à condition d'être eux-mêmes en contact avec cet élément de l'air.

L'an dernier, tandis que nous étudiions la circulation, nous avons, par des ligatures ou par des injections de matières inertes, empêché le sang de venir apporter à des muscles cette excitation, et les muscles ont perdu leurs propriétés vitales. Il en est de même pour les nerfs, pour la moelle épinière, pour le cerveau. Ces expériences sont très-nettes, et l'on peut faire la contre-épreuve. En effet, lorsqu'on laisse le sang reprendre son cours, les propriétés que la ligature avaient éteintes reparaissent. Je vous rappelle la belle expérience de M. Brown-Séquard, que du reste Sténon avait déjà faite sur la moelle. M. Brown-Séquard décapite un chien, aussitôt toutes les fonctions cérébrales sont abolies; mais si, après quelques minutes, on injecte, d'une façon presque continue, du sang oxygéné dans les artères carotides et vertébrales, les propriétés physiologiques des diverses parties de l'encéphale renaissent. Chose merveilleuse ! on voit se produire dans les yeux et la face des mouvements paraissant indiquer une résurrection des fonctions intellectuelles. N'est-ce pas là une preuve bien remarquable du pouvoir excitateur de l'oxygène?

Mais cette nécessité de l'influence de l'oxygène crée à l'organisme un besoin impérieux, découlant du mode d'action de cet agent excitateur et qui va nous expliquer pourquoi la digestion est indispensable à la conservation de l'individu.

Cette action, en effet, est par sa nature même altérante, car c'est une combustion. Or, il ne saurait pas y avoir combustion sans combustible. Une machine à vapeur que l'on n'alimenterait pas de charbon cesserait de fonctionner ; il en est de même de la respiration : il lui faut sans cesse un apport de matériaux nouveaux. Il y a là un enchaînement fatal, d'une part nécessité de la combustion respiratoire pour la production de l'excitation vitale, et de l'autre nécessité constante de matériaux pour cette combustion. La vie persiste à condition que la matière sera conservée dans cet état perpétuel d'instabilité, état consistant dans un double mouvement moléculaire de désintégration et d'intégration nouvelle.

La respiration attaque donc et détruit peu à peu, en la brûlant, la substance organisée; il faut, de toute nécessité, qu'il y ait une incessante réparation, et si cette réparation peut se faire pendant quelque temps aux dépens du sang, on comprend qu'il ne saurait en être longtemps ainsi.

Bien avant qu'il soit épuisé, le sang ne peut plus suffire à combler les pertes faites par l'être vivant, et il lui faut se réparer lui-même à son tour. Il est donc absolument nécessaire que des matières empruntées au monde extérieur puissent pénétrer dans le corps de l'animal pour le nourrir, c'est-à-dire pour ramener sans cesse ses divers éléments anatomiques à leur composition normale.

Comme, de plus, la combustion par laquelle l'oxygène exerce son influence porte sur des matières complexes, on doit retrouver dans les matériaux introduits dans l'organisme tous les éléments qui sont nécessaires à la réparation. Telle est la loi qui régit la vie du règne organique, et qui est commune aux animaux et aux végétaux.

Mais il est une cause d'altération surajoutée pour les animaux. Toute action vitale, quelque dynamique qu'on puisse la supposer, est destructive de ses instruments. Prenons, en effet, la contraction musculaire. Rien n'est plus facile que de démontrer la modification des tissus. Vous savez, en effet, que les bestiaux surmenés, la venaison forcée, conservent peu de temps leur intégrité de structure, et que la putréfaction les envahit rapidement. Mais cette preuve est aussi fournie par l'expérience physiologique. M. du Bois-Reymond a montré qu'à la suite de la contraction musculaire il se produisait dans le muscle lui-même de l'acide lactique. Notez bien que ce mode d'expérience ne peut pas être incriminé. Ce n'est pas au moyen de l'électricité que se produit cette modification particulière, car alors on pourrait accuser l'agent excitateur d'avoir produit l'altération. M. du Bois-Reymond coupe sur un animal les nerfs qui vont animer un des membres postérieurs. Puis il introduit de la strychnine, sous la peau du dos par exemple. Bientôt apparaissent des convulsions tétaniques qui agitent violemment tous les muscles, excepté ceux que venaient animer les nerfs sectionnés. Après la mort de l'animal, on constate que les muscles qui sont restés en repos ont

Digitized by Google

conservé leur réaction alcaline, tandis que les muscles agités par les convulsions ont une réaction acide.

L'expérience est très-démonstrative, car cette réaction acide ne saurait être le produit direct du mode d'expérience mis en usage. Elle est bien le résultat des contractions prolongées des muscles, contractions excitées par la moelle épinière.

Outre cette modification chimique qui consiste dans le changement de réaction, M. Helmholtz a montré que le muscle contenait un plus grand nombre de matériaux solubles, après un travail musculaire intense et prolongé. Il est vrai qu'ici on pourrait objecter que les liquides affluent dans les muscles soumis à un travail violent, de telle sorte qu'en enlevant sur les deux membres d'un animal un même poids de chair musculaire, après que l'un de ces membres aura été le siége de contractions considérables et très-répétées, on trouvera forcément une plus grande proportion de liquides dans ce membre que dans l'autre, sans qu'on puisse y voir une preuve que la substance musculaire s'y est détruite en plus grande quantité.

Ce n'est pas seulement dans les muscles que l'on observe ces changements, on les trouve aussi dans les nerfs, après une excitation violente, comme l'a montré M. Otto Funke, et je ne crains pas d'être accusé de témérité en disant qu'il en est de même pour la moelle épinière et le cerveau. On ne peut concevoir, en effet, qu'il y ait le moindre travail cérébral sans une dépense organique ; et certaines personnes, à la suite d'un travail intellectuel, ressentent de l'appétit.

Davy et de Baerensprung ont noté une augmentation de température dans les mêmes conditions ; et, ce qui prouve une accélération dans la combustion, une plus grande quantité d'acide carbonique est exhalée. Il y a, en outre, une modification des humeurs à la suite des travaux de l'esprit, modification très-manifeste dans les sécrétions sudorale et urinaire.

Toutes ces modifications déterminées par le jeu fonctionnel des différents éléments anatomiques exigent donc aussi une réparation. C'est la seconde cause contraignant l'animal à emprunter au monde extérieur des substances réparatrices.

Une troisième cause se trouve dans la formation des germes, surtout chez les animaux vivipares.

Une quatrième cause, c'est la nécessité de l'emploi de matériaux divers pour que l'accroissement puisse s'effectuer.

Enfin, devons-nous mentionner aussi, au nombre de ces causes, le besoin où seraient les animaux d'absorber certaines substances particulières destinées plus spécialement que les autres à l'entretien de la calorification ?

Quoi qu'il en soit à cet égard, nous venons de passer rapidement en revue les raisons physiologiques qui expliquent la nécessité d'emprunts faits sans cesse au monde extérieur. Les matières ainsi empruntées portent le nom d'aliments.

Ces aliments doivent représenter tous les éléments qui constituent le corps, et, à ce titre, l'animal et le végétal doivent absorber de l'eau. La matière organisée est constituée dans les trois à quatre cinquièmes par de l'eau, et les sécrétions animales en éliminent constamment ; il faut donc que cette eau soit remplacée. Il faut que la nutrition vienne réparer les pertes et que, comme dans un sage budget, la dépense soit couverte par la recette. Aussi on retrouvera dans la constitution chimique des aliments les principes des tissus de l'économie. Si les végétaux peuvent, la plupart du temps, se contenter de composés binaires ou ternaires avec lesquels ils fabriquent de la matière organisée, les animaux n'ont pas une puissance égale ; il leur faut la matière déjà organisée pour aliment, et ils doivent y trouver de l'oxygène, de l'hydrogène, du carbone et de l'azote, diversement combinés.

Mais, outre ces matériaux primitifs, fondamentaux et de première nécessité, il en est qui ne sont pas moins indispensables et que, pour abréger, j'appellerai matériaux inorganiques. Dans ce nombre, outre l'eau que j'ai déjà mentionnée, je vous citerai quelques sels comme les sels de sodium, de potassium, le phosphate et le carbonate de chaux, des sels de magnésie, le fer, le soufre, et le phosphore qui figure parmi les éléments constitutifs du cerveau. Aussi M. Moleschott s'est-il écrié : « Sans phosphore, pas de pensée. »

Quelle que soit l'idée que l'on se forme de la pensée, cette formule est toujours vraie. Pour l'exercice de la pensée, il faut un organe, et puisqu'on ne saurait comprendre la substance cérébrale sans phosphore, en la privant d'un de ces éléments, on la désorganise. Et Moleschott ajoute avec raison qu'il aurait pu dire, d'une façon tout aussi légitime, en énumérant tous les éléments du cerveau : sans graisse, pas de pensée ; sans albumine, pas de pensée : car si l'on privait cet organe d'un de ces éléments, on le détruirait ; et en détruisant le cerveau on anéantirait la pensée.

Vous voyez, d'après ce que je viens de vous dire, l'importance de commencer l'étude de la nutrition par celle des aliments. C'est là un prolégomène indispensable. En effet, c'est sur eux que doit porter le travail nutritif, et c'est grâce à eux que s'opère la nutrition intime. Malheureusement ce mot nous force à faire un aveu : c'est là le côté faible de la physiologie. Nous ignorons, en effet, la série de phénomènes par lesquels l'aliment digéré est converti ici en fibre musculaire, là en tissu conjonctif, ailleurs en tendons, etc.

Nous pouvons acquérir une notion très-exacte de ce qui pénètre dans le corps, les matériaux se prêtent aisément à l'étude ; nous pouvons aussi observer le mécanisme de leur préparation dans l'appareil digestif ; nous pouvons enfin constater quels sont les résidus et quelle en est la composition ; mais entre l'entrée et la sortie de ces matériaux, un voile nous cache les opérations de la nature.

Nous analysons les matières qui pénètrent dans le corps, et d'autre part celles qui en sortent. Les unes et les autres ont quelquefois des formules chimiques bien déterminées ; un bon nombre d'entre elles pourtant ne sont pas des substances définies. Nous alignons les formules ; puis, soit par des additions ou des soustractions d'équivalents d'eau ou d'un des éléments fondamentaux des substances organisées, soit par la substitution d'un radical organique à l'un de ces éléments, nous cherchons à nous rendre compte des phénomènes qui se sont passés. Tentatives louables, qui ont déjà donné d'intéressants résultats, mais qui ont à peine dissipé les plus grandes obscurités de la question !

Aussi, comme on l'a dit, le physiologiste qui s'occupe de cette recherche ressemble-t-il encore aujourd'hui à un passant qui, placé devant une maison, observerait tout ce qui entre et tout ce qui sort, et, avec ces deux données, chercherait à deviner ce qui s'est passé dans cette maison. Et encore le problème physiologique est autrement difficile.

Il est vrai cependant, pour ne rien exagérer, qu'on a pu, en physiologie, s'approcher d'un peu plus près du théâtre des mutations organiques. On a pu, par exemple, analyser le suc de tel ou tel organe, là où les produits de désintégration ne sont pas encore mêlés à ceux des autres parties du corps. Mais,

Digitized by Google

comme vous le comprenez bien, ce suc, le suc musculaire si vous voulez, est encore un mélange confus des humeurs physiologiques communes, du liquide musculaire de constitution, des éléments nutritifs apportés par le sang, et des déchets occasionnés par le mouvement vital. Et de plus, le muscle dont vous retirez ce suc est formé de faisceaux musculaires, de tissu conjonctif, de vaisseaux divers, de nerfs. Auquel de ces éléments attribuer les matériaux du suc? Il y a donc là de bien grandes difficultés; mais il ne faut pas désespérer : il s'agit sans doute plutôt d'une imperfection de nos moyens de recherches que d'une impossibilité réelle.

J'en reviens à ce qui nous occupe en ce moment. Je vous ai montré que les êtres vivants doivent de toute nécessité absorber des substances étrangères pour leur respiration et pour leur nutrition intime. Or, comment ces substances pénètrent-elles dans l'intérieur du corps?

Chez les végétaux, les matériaux nutritifs sont absorbés sans préparation spéciale, ou, du moins, sans que le végétal participe au travail préparatoire que ces matériaux peuvent subir. L'oxygène, l'acide carbonique, l'eau, l'azote surtout sous forme d'ammoniaque et d'acide nitrique, peuvent pénétrer directement par l'intermédiaire des feuilles. Ces diverses substances pénètrent aussi par les racines; et cette voie d'absorption sert aussi à l'entrée de divers sels ou d'autres corps, tels que la silice. De plus encore, les racines peuvent absorber des substances dérivant des matières organiques en décomposition, par exemple de l'humine, de l'ulmine, des acides humique, ulmique, crénique, apocrénique, etc. Et toutes ces substances sont dissoutes et peuvent pénétrer en nature dans le végétal : peut-être y a-t-il une modification de ces substances dès le moment où elles traversent les parois des cellules superficielles des plus fins filaments radiculaires; mais il n'y a là rien qui puisse se comparer à ce qui a lieu chez les animaux.

Pour ceux-ci, en effet, la plupart des aliments sont à l'état solide ou en suspension, et ils ne peuvent pénétrer dans les tissus qu'à condition d'être dissous ou, pour quelques-uns (graisses) d'être réduits en particules très-fines. Aussi est-il nécessaire qu'il puisse se faire chez les animaux une opération préparatoire ayant pour but de liquéfier les aliments ou de les diviser en très-petites parcelles, et cette opération, c'est la *digestion*. Non-seulement la digestion agit sur les aliments solides ou en suspension, comme je viens de l'indiquer, mais encore elle fait subir à la plupart d'entre eux des modifications moléculaires très-remarquables qui changent leurs caractères primitifs; c'est ainsi que les solutions qui résultent de l'action de la digestion, sur la chair musculaire, ou sur le tissu cellulaire, ou sur le gluten, etc., ne peuvent plus fournir à nos procédés chimiques des substances identiques, comme propriétés, avec cette chair, avec ce tissu cellulaire, avec ce gluten, etc. De même encore, la digestion ne dissout pas directement l'amidon, mais elle le transforme en dextrine et en glycose. Enfin, ce qui montre encore mieux la nécessité de la digestion chez les animaux, c'est que les matières déjà liquides, tirées du règne organique, telles que l'albumine, la caséine, le sucre de canne, ne peuvent pénétrer dans le fluide nourricier qu'après avoir subi une altération qui les transforme, les premières en peptone, le sucre de canne en glycose.

Ces indications suffisent pour vous montrer qu'il s'agit ici d'une fonction d'une grande importance et à peu près nécessaire. J'emploie à dessein cette restriction, parce que chez quelques animaux inférieurs, il ne paraît pas se faire de véritable digestion, et que chez ces animaux, par conséquent, l'absorption des substances nutritives semble avoir lieu immédiatement, par une partie plus ou moins étendue de l'enveloppe tégumentaire, ce qui rappelle le mode d'absorption nutritive propre aux végétaux. Je vous citerai comme exemple le Ténia, qui n'a pas de bouche : aussi on peut se demander comment se fait chez lui l'absorption des aliments; par quel moyen il peut faire cette élaboration dont nous venons de montrer l'urgence dans la série animale. On a voulu expliquer cette exception, en disant que le Ténia vivait au milieu de substances alimentaires digérées, que l'animal dont il habite l'intestin se chargeait de digérer pour le Ténia, et que celui-ci, par la surface de son corps, pouvait alors absorber directement ces substances ainsi modifiées. Mais cette explication ne peut être admise sans contestation, car si les Ténias vivent au milieu des produits de la digestion, il n'en est pas de même de tous les Helminthes, et le Cysticerque, qui vit dans la graisse de porc, ne saurait y trouver une alimentation comparable à celle que le Ténia adulte trouve dans l'intestin. Cette exception, très-rare, vous montre la nécessité d'une cavité digestive chez tous les animaux, à tel point qu'il peut s'en former d'adventives, comme cela a lieu chez les Rhizopodes. Et ne croyez pas que nous ayons affaire là à des animaux dont l'alimentation soit des plus simples. Ils se nourrissent le plus souvent de petits animalcules et de protophytes.

Chez tous les autres animaux on trouve une cavité digestive préétablie. On a dit que pour les végétaux cet appareil est représenté par le sol dans lequel se ferait une sorte de digestion, par suite de la décomposition des matières organiques. Les racines vont puiser dans la terre végétale les liquides ainsi préparés. En poursuivant cette comparaison ingénieuse, on a dit que les animaux transportent en quelque sorte avec eux leur sol, représenté par leur estomac; et c'est grâce à cette disposition qu'ils peuvent se locomouvoir, car sans cela ils eussent forcément été fixés à la terre comme les végétaux. L'assimilation a été poussée plus loin encore et l'on a pu comparer les villosités intestinales, chargées d'absorber le liquide utile, aux racines des végétaux.

Une fois que la digestion est faite, l'absorption commence à s'effectuer, et les produits de la digestion se trouvent conduits jusque dans les fluides nourriciers qui les transportent et les disséminent dans toutes les parties du corps, jusqu'au contact de tous les éléments anatomiques et de toutes les parties quelconques de la substance organisée, c'est-à-dire jusqu'aux points où doit s'opérer l'assimilation. L'étude de l'absorption des produits de la digestion formera donc naturellement la dernière partie de ce cours; et nous pouvons résumer notre programme en ces termes :

1° Étude des aliments, prolégomènes indispensables, car avant d'étudier la digestion, il faut connaître la matière première que cette opération va métamorphoser.

2° Étude de la cavité digestive et de ses modifications dans la série animale; étude aussi importante que la précédente, car à côté de la matière nutritive, il est urgent de connaître les instruments qui servent à la modifier.

3° Les phénomènes qui rendent l'aliment assimilable.

4° Enfin, lorsque l'aliment est devenu assimilable, il reste à déterminer par quels moyens il entre dans l'économie; nous montrerons la route qu'il suit pour pénétrer dans le torrent circulatoire, et jusqu'au cœur.

Digitized by Google

Vous le voyez, la tâche que nous nous imposons est longue. Elle ne comprend pas seulement l'étude de la physiologie de l'appareil digestif, tel qu'il se comporte de la bouche à l'anus; nous trouverons sur notre route des glandes, ses annexes, dont il faudra tenir compte : les glandes salivaires, le pancréas, le foie, la rate. Ces glandes nous amèneront à traiter de la physiologie des sécrétions, de la fonction des nerfs vasomoteurs, de la fonction du foie et de la glycogénie.

Ces questions ont pris un grand développement par suite des travaux modernes, et cette sorte d'actualité augmente encore leur intérêt. C'est, en effet, à des recherches assez récentes et dont quelques-unes sont contemporaines, que sont dues les plus belles découvertes sur la digestion.

Les anciens, il faut l'avouer, n'ont absolument rien su de la digestion et l'on est étonné des théories émises par les pères de la médecine. Pour Hippocrate, la digestion était une sorte de putréfaction. Érasistrate en faisait une trituration et cette théorie a compté des partisans jusqu'au siècle dernier. Galien l'appelle une coction; au XVIIe siècle on en faisait une fermentation.

Les véritables données positives ne datent que de Réaumur. Lui seul a fait faire un véritable progrès dans la bonne voie, et Spallanzani, qui l'a suivi, n'a fait qu'ajouter aux travaux de son prédécesseur. De nos jours grâce aux expériences de Beaumont sur son Canadien, on a pu indiquer le rôle du suc gastrique chez l'homme : Wasmann a isolé la pepsine en 1839; enfin, vous connaissez tous les beaux travaux de Cl. Bernard sur les glandes.

En jetant un coup d'œil sur les progrès qu'a faits la physiologie, je ne puis m'empêcher de constater qu'une assez belle part en revient à la France. Il est malheureusement de mode chez nous d'exalter ce que font les voisins même au détriment des compatriotes. Je crois que la science doit être avant tout cosmopolite; aussi suis-je bien éloigné de me laisser aveugler par un patriotisme étroit et jaloux. Cependant je vois avec un sentiment pénible des traités mis entre les mains de la jeunesse prétendre que toutes les grandes découvertes de la physiologie ont été faites à l'étranger.

Si Harvey a donné une noble gloire à l'Angleterre, en découvrant la circulation, n'est-ce pas à Pecquet que revient l'honneur de la découverte de la circulation lymphatique? N'est-ce pas Réaumur, comme je vous le disais, qui a donné les premières notions exactes sur la digestion? Et la respiration,—cette grande fonction, bien plus importante que la circulation et même que la digestion, puisqu'elle fait partie des conditions fondamentales, essentielles, prochaines, de la vie — qui a révélé sa véritable théorie, jusque-là profondément ignorée? N'est-ce pas Lavoisier, ce grand homme que la chimie et la physiologie peuvent réclamer à juste titre, l'une et l'autre, comme une de leurs gloires les plus éclatantes, n'est-ce pas lui, qui, du même coup, a découvert le véritable mécanisme de la calorification dans les êtres vivants? Cessera-t-on, enfin, d'attribuer à Ch. Bell la belle découverte des fonctions des racines antérieures et postérieures des nerfs rachidiens, découverte dont l'honneur revient à Magendie, ainsi que je l'ai démontré d'une façon décisive, je l'espère, dans mes leçons sur la physiologie générale et comparée du système nerveux (1). Et Bichat, le rénovateur de l'expérimentation physiologique, le véritable fondateur de l'histologie, cette branche si importante de la physiologie générale, ne nous appartient-il pas? Enfin, si nous jetons un regard sur l'histoire de la physiologie du système nerveux, ne voyons-nous pas, à côté du nom de Magendie, se détacher ceux de Legallois, de M. Flourens, à qui sont dues à peu près complétement toutes les notions précises que nous possédons sur la physiologie de l'encéphale, et les noms de M. Longet, de M. Cl. Bernard, j'ajouterai même de M. Brown-Séquard, dont les premiers travaux ont été faits ici, dans notre Société de biologie.

Il me semble qu'entourée de semblables savants, la France peut se tourner avec une fière et légitime assurance vers les pays étrangers, et leur dire : Voilà ma pléiade physiologique, montrez-moi la vôtre. — E. Bremond.

(1) Voy. la leçon VI du cours de M. Vulpian dans la *Revue des cours scientifiques*, 1re année, 27 août 1864, p. 552.

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS.

PHYSIQUE MÉDICALE.

COURS DE M. GAVARRET (*).

Des images par réflexion et par réfraction.

DES LENTILLES PLACÉES DANS L'AIR (suite).

48. *Foyer d'un point lumineux situé sur l'axe principal.* — Soit P (fig. 211) un point lumineux quelconque situé sur l'axe principal. Menons un rayon incident quelconque PI dont le prolongement perce en D le premier plan principal. Menons DD′ parallèle à l'axe principal; le point D′ du second plan principal et le point B où le second plan focal est percé par la ligne de direction K′B parallèle à PI, appartiennent à la direction du rayon émergent I′R, et déterminent sa position; de plus ce rayon émergent est parallèle à la ligne de direction HK menée par le point H où le rayon incident perce le premier plan focal. — Ce rayon émergent I′R coupe l'axe principal en un point P′ dont il faut déterminer la position.

Les triangles rectangles PFH, K′F′B sont semblables et donnent :

$$\frac{PF}{K'F'} = \frac{HF}{BF'}$$

D'autre part, les triangles rectangles KFH, P′F′B sont semblables et donnent :

$$\frac{KF}{P'F'} = \frac{HF}{BF'}$$

D'où :

$$\frac{PF}{K'F'} = \frac{KF}{P'F'}$$

Mais les distances focales KF, K′F′ sont égales, et nous les désignons par la lettre φ; nous avons donc, en faisant disparaître les dénominateurs :

$$PF \times P'F' = \varphi^2$$

Dans cette équation, la distance P′F′ du point P′ au second foyer principal F′ est indépendante de l'inclinaison du rayon incident sur l'axe principal, elle reste donc la même pour tous les rayons incidents émanés du point P, et P′ est le foyer du point lumineux P.

(*) Voy. les nos 26, 27, 28 et 30, et d'autres leçons de M. Gavarret *sur la climatologie*, dans les nos 7, 8, 10, 12 et 15.

Digitized by Google

Si un point lumineux était placé en P′, les rayons émergents convergeraient évidemment tous en P. Les points P, P′ sont donc *réciproques* l'un de l'autre; ce sont deux *foyers conjugués*.

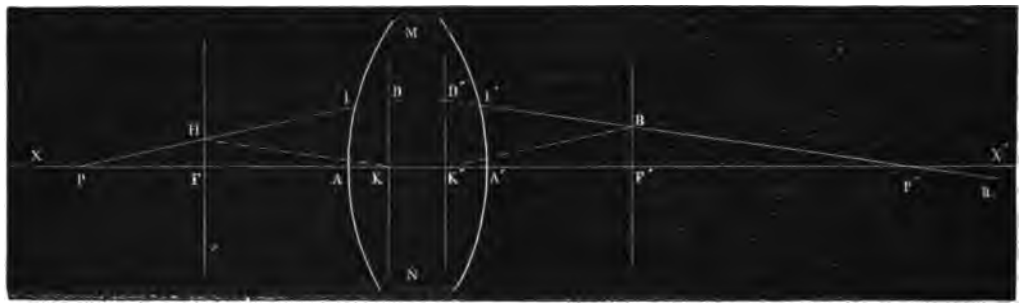


Fig. 211.

Désignons par les lettres l, l' les distances PF, P′F′ du point lumineux P et de son foyer P′ au premier et au second foyer principal de la lentille; nous aurons pour formule générale des foyers conjugués :

$$ll' = \varphi^2 \qquad (4)$$

Pour que cette formule donne, dans tous les cas, les positions relatives du point lumineux P et de son foyer P′, nous conserverons les conventions déjà énoncées (27). l est compté à partir de F *positivement* à *gauche*, *négativement* à *droite* de F; l' est compté à partir de F′ *positivement* à *droite*, *négativement* à *gauche* de F′ (*).

L'équation (4) donne pour valeur de l' :

$$l' = \frac{\varphi^2}{l}$$

La quantité φ^2 est nécessairement positive, par conséquent le signe de l' ne dépend que de celui de l.

Tant que l est *positif*, c'est-à-dire tant que le point lumineux P est situé à *gauche* de F, l' est aussi *positif*, le foyer P′ est à *droite* de F′ et *réel*.

La distance l' devient *négative* en même temps que l; par conséquent quand le point lumineux passe à *droite* de F, le foyer P′ passe à *gauche* de F′ et reste *réel* ou devient *virtuel* suivant la valeur de l.

A. — *Le point lumineux* P *est à gauche du premier foyer principal* F, *l est positif*. — Nous savons que, dans ce cas, l' est *positif* et le foyer P′ à *droite* du second foyer principal F′.

Lorsque le point lumineux P est *infiniment* éloigné, $l = \infty$, $l' = 0$; le foyer P′ est donc au second foyer principal F′. — Il devait en être ainsi, puisque, dans ce cas, les rayons incidents sont tous parallèles à l'axe principal.

A mesure que le point lumineux P se rapproche du premier foyer principal F, la valeur de l diminue, celle de l' augmente et le foyer P′ toujours *réel* s'éloigne à *droite* du second foyer principal F′. — Pour le cas particulier où $l = \varphi$, nous avons $l' = \varphi$; lors donc que le point lumineux P est à une distance du premier point nodal K égale à deux fois la distance focale φ, la distance de son foyer P′ au second point nodal K′ est aussi égale à deux fois la distance focale φ.

Enfin lorsque $l = 0$, le point lumineux P est au premier foyer principal F, $l' = \infty$ et le foyer P′ est *infiniment* éloigné; ce qui indique, comme on devait s'y attendre, que les rayons émergents sont tous parallèles à l'axe principal.

B. — *Le point lumineux* P *est à droite du premier foyer principal* F; *l est négatif*. — Nous savons que, dans ce cas, l' est *négatif* et le foyer P′ à *gauche* du second foyer principal F′.

Tant que le point lumineux P, *réel* ou *virtuel*, est situé entre le premier foyer principal F et le premier point nodal K, la grandeur absolue de l est inférieure à φ, la grandeur absolue de l' est supérieure à φ, le foyer P′ est donc *virtuel* et situé à *gauche* du second point nodal K′. — D'ailleurs la valeur absolue de l' est d'autant plus grande que celle de l est plus petite; par conséquent le foyer *virtuel* P′ s'éloigne à *gauche* de K′ et marche vers l'*infini* à mesure que le point lumineux P se rapproche du premier foyer principal. F.

Si $l = -\varphi$, le point lumineux *virtuel* P est au premier point nodal K, $l' = -\varphi$ et le foyer P′ *virtuel* aussi est au second point nodal K′.

Enfin, dans le cas où la valeur absolue de l est supérieure à φ, le point lumineux *virtuel* P est à *droite* du premier point nodal K, la valeur absolue de l' est inférieure à φ et le foyer P′ est compris entre le second point nodal K′ et le second foyer principal F′. — D'ailleurs, à mesure que le point lumineux *virtuel* P s'éloigne à *droite* de K et marche vers l'*infini*, la grandeur absolue de l' diminue et le foyer P′ se rapproche du second foyer principal F′. — Pour une certaine position du point lumineux *virtuel* P, la valeur absolue de l' est égale à A′F′, et le foyer P′ est au sommet de la seconde face de la lentille; à partir de cette position, le foyer P′ est *réel* et se rapproche du second foyer principal F′ à mesure que le point lumineux *virtuel* P s'éloigne à *droite* du point nodal K.

Ainsi, dans tous les cas, les foyers conjugués P, P′ se déplacent dans le *même sens* le long de l'axe principal de la lentille.

(*) De l'équation (4), il est facile de tirer la formule classique, moins simple et moins facile à discuter, des foyers conjugués. Nous avons en effet :

$$l = PF = PK - KF$$
$$l' = P'F' = P'K' - K'F'$$

Si nous désignons par les lettres p, p' les distances PK, P′K′, et si nous remplaçons KF et K′F′ par φ, nous aurons.

$$l = p - \varphi$$
$$l' = p' - \varphi$$

ce qui donne, en substituant dans l'équation (4),

$$(p - \varphi)(p' - \varphi) = \varphi^2$$

d'où

$$p\varphi + p'\varphi = pp'$$

et enfin, en divisant tous les termes par le produit $pp'\varphi$

$$\frac{1}{p'} + \frac{1}{p} = \frac{1}{\varphi}$$

Telle est la formule classique des foyers conjugués dans laquelle p est compté à partir du point K, *positivement* à *gauche* et *négativement* à *droite* de K; p' est compté à partir du point K′, *positivement* à *droite* et *négativement* à *gauche* de K′.

Digitized by Google

49. *Foyer d'un point lumineux situé hors de l'axe principal.* — Soit S (fig. 212) un point lumineux quelconque hors de l'axe principal. Le rayon incident SI parallèle à l'axe principal perce le second plan principal en D′ et émerge suivant D′F′R ; le rayon incident SFI′ émerge suivant B′R′ parallèle à l'axe principal ; le rayon incident SK émerge parallèlement à lui-même suivant K′S′. Le point S′ où ces trois rayons émergents se coupent est donc le foyer du point lumineux S. — Abaissons les perpendiculaires SP, S′P′ sur l'axe principal.

formules (5) détermine leurs positions relatives ; la seconde est l'expression du rapport de leurs dimensions linéaires.

En appliquant à ces deux équations le mode de discussion adopté pour la formule générale des foyers conjugués, on arrive facilement aux conclusions suivantes :

A. *L'objet* SP *est à gauche du premier plan focal* F. — Dans ce cas PF est positif, P′F′ est donc aussi positif, et l'image S′P′ est à *droite* du second plan focal F′. L'objet et son image son tous les deux *réels*.

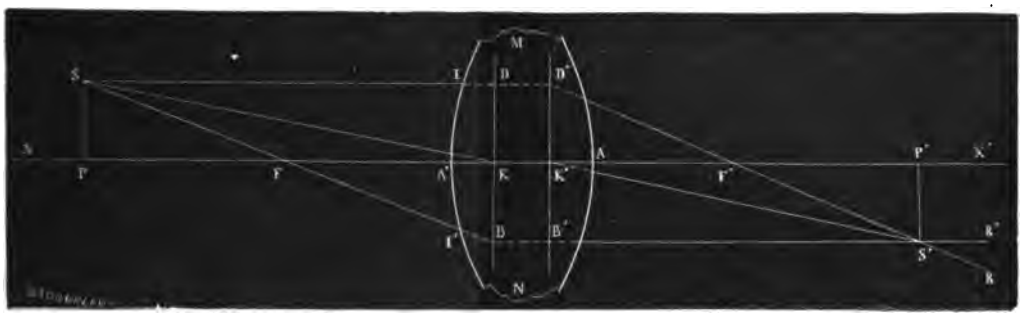


Fig. 212.

En tenant compte des relations S′P′ = BK, SP = D′K′, KF = K′F′ = φ, les deux couples de triangles semblables FSP, FBK, et F′D′K′, F′S′P′ donnent facilement :

$$(5)\quad \begin{cases} PF \times P'F' = \varphi^2 \\ \dfrac{S'P'}{SP} = \dfrac{\varphi}{PF} \end{cases}$$

Étant donnée la position du point lumineux S, ces deux formules déterminent la position de son foyer S. — La première montre que les pieds P, P′ des perpendiculaires abaissées du point lumineux S et de son foyer S′ sur l'axe principal satisfont à la formule générale des foyers conjugués.

Dans la figure 036 le point lumineux S et son foyer S′ sont l'un *au-dessus*, l'autre *au-dessous* de l'axe principal. Ces deux points devant toujours se trouver sur les lignes de directions parallèles SK, K′S′, leur position relative reste évidemment la même dans tous les cas où les deux points nodaux K, K′ sont compris dans l'intervalle qui sépare P de P′.

50. *Rapports de position et de grandeur d'un objet lumineux et de son image.* — Les formules (5) montrent que si des points lumineux sont placés sur un plan perpendiculaire à l'axe principal mené par SP, leurs foyers sont nécessairement situés sur un plan perpendiculaire à l'axe principal mené par S′P′ ; il est évident d'ailleurs que ces points lumineux et leurs foyers sont semblablement distribués sur ces deux plans.

Si l'objet SP est infiniment éloigné, PF est infiniment grand, P′F′ est infiniment petit ; l'image S′P′, infiniment petite par rapport à l'objet SP, est sur le second plan focal F′.

Quand l'objet SP est à une distance du premier plan principal K double de la distance focale φ, PF = φ, P′F′ = φ. L'image S′P′ est aussi à une distance du second plan principal K′ double de la distance focale φ ; de plus l'objet et son image sont de même grandeur. — A mesure que l'objet s'éloigne du premier plan focal F, l'image diminue et se rapproche du second plan focal F′ ; à mesure que l'objet se rapproche du premier plan focal F, son image grandit, s'éloigne du second plan focal F′ et s'avance vers l'*infini*.

Enfin, quand l'objet SP est sur le premier plan focal F, PF = 0, P′F′ est infiniment grand, l'image S′P′ est donc infiniment éloignée et infiniment grande par rapport à l'objet.

D'ailleurs, dans tous les cas, l'image *réelle* est renversée, car les points nodaux K, K′ sont constamment compris dans l'intervalle qui la sépare de l'objet.

B. — *L'objet est à droite du premier plan focal* F. — Dans ce cas PF est négatif, P′F′ est donc aussi négatif et l'image S′P′ passe à *gauche* du second plan focal F′. — L'objet reste *réel* tant qu'il est placé entre le premier plan focal F et la première face A de la lentille, et devient *virtuel* quand il passe à droite de cette face A. — L'image est *virtuelle* quand elle est située à

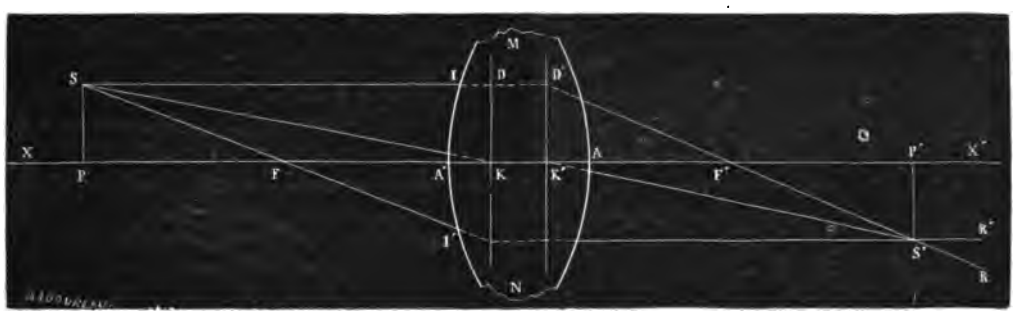


Fig. 213.

Si donc SP (fig. 213) est un objet lumineux ou éclairé, S′P′ est nécessairement son image semblable. — La première des

gauche de la seconde face A′ de la lentille et devient *réelle* quand elle est comprise entre cette face A′ et le second plan focal F′.

Digitized by Google

Tant que l'objet SP, *réel* ou *virtuel*, est compris entre le premier plan focal F et le premier plan principal K, la grandeur absolue de PF est inférieure à φ, celle de P'F' est supérieure à φ; l'image S'P' est donc à *gauche* du second plan principal K', *virtuelle* et plus grande que l'objet.— D'ailleurs l'image S'P' toujours *virtuelle* grandit et s'éloigne vers l'*infini* à mesure que l'objet se rapproche du premier plan focal F.

Si l'objet *virtuel* SP est sur le premier plan principal K, son image S'P' *virtuelle* et de même grandeur est sur le second plan principal K'.

Pour une certaine position de l'objet *virtuel* SP, son image S'P' est sur la seconde face A' de la lentille.— A partir de cette position, à mesure que l'objet *virtuel* s'éloigne vers l'*infini*, son image *réelle* S'P' est plus petite que l'objet, diminue et se rapproche du second plan focal F'.

En tenant compte de la position des points nodaux K, K' par rapport à l'objet SP et à son image S'P', il est facile de voir que, dans tous ces cas, l'image *réelle* ou *virtuelle* S'P' est nécessairement *droite*.

Ainsi donc en résumé dans la lentille biconvexe :

1° Comme les foyers conjugués, un objet et son image se déplacent toujours dans le *même sens* le long de l'axe principal.

2° Un objet SP et son image S'P' étant compris tout entiers entre l'axe principal et les deux lignes de direction KS, K'S' parallèles entre elles, un œil qui regarderait successivement l'objet du premier point nodal K et l'image du second point nodal K' les verrait nécessairement sous le même angle.

LENTILLE PLAN-CONVEXE.

51. Dans la lentille plan-convexe (fig. 214) la détermination des points cardinaux est très-simple.

Le plan tangent au sommet A de la première face de la lentille est parallèle à la seconde face A', par conséquent tout rayon SA qui passe par A pénètre suivant AI et émerge suivant IR parallèle à SA. Le sommet A de la première face est donc le *centre optique* de la lentille.

52. Si nous prolongeons le rayon émergent IR jusqu'au point K' où il rencontre l'axe principal, K' est le foyer du

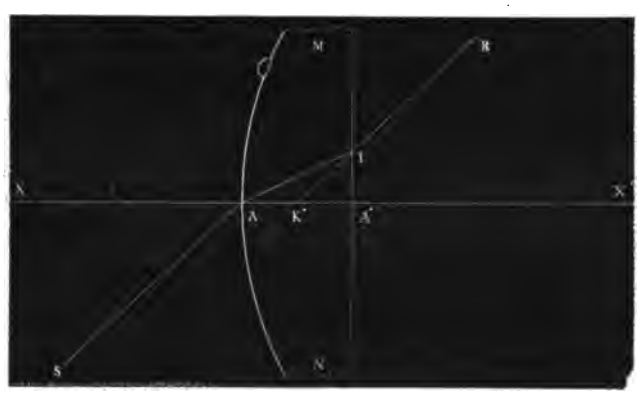


Fig. 214.

point A rayonnant vers la seconde face A'; c'est l'image de A regardé à travers cette seconde face. — Tout rayon incident qui passe par A émerge donc de la lentille suivant une droite qui lui est parallèle, et dont le prolongement passe par K'. A et K' sont donc les *deux points nodaux* de la lentille.

D'ailleurs puisque les rayons incidents partis de A émergent à travers la face plane A' d'un milieu d'indice de réfraction n dans l'air, la formule (*é*) (30 *note*) donne, en ne tenant compte que des valeurs absolues :

$$A'K' = \frac{AA'}{n}$$

Et, en désignant toujours AA' par la lettre e:

$$A'K' = \frac{e}{n}$$

53. Il est facile de voir, en outre, que les plans perpendiculaires à l'axe principal menés par A et par K' sont des plans

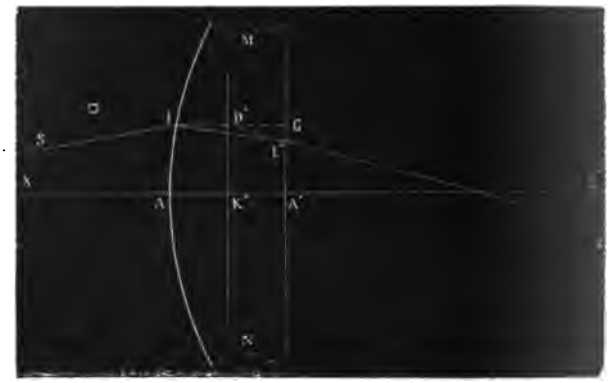


Fig. 215.

principaux. En effet, dans le voisinage de l'axe principal, la face A de la lentille se confond avec son plan tangent en A qui est perpendiculaire à cet axe; un rayon incident quelconque SI (fig. 215) perce donc en *un même point* I cette face A et son plan tangent, et la parallèle IG à l'axe principal est sensiblement égale à AA'. Mais SI pénètre suivant II', et émerge suivant I'R dont le prolongement rencontre la ligne IG en un point D' tel que :

$$GD' = \frac{IG}{n} = \frac{AA'}{n} = \frac{e}{n} = A'K'$$

Le point D' qui appartient à la direction du rayon émergent I'R est donc situé sur le plan perpendiculaire à l'axe principal mené par K', c'est le point où ce plan est percé par la parallèle à l'axe principal menée par le point d'incidence I, c'est-à-dire par le point où le rayon incident perce le plan tangent en A à la première face de la lentille.

Donc le sommet A de la première face est à la fois le *premier point nodal* et le *premier point principal* de la lentille: le point K' est son *second point nodal* et son *second point principal;* enfin les *plans principaux* sont les plans perpendiculaires à l'axe principal menés par les points A et K'.

54. Soient a, a' (fig. 216) les foyers principaux *réels* de la première face A. Ses distances focales sont *positives* et en désignant par r son rayon de courbure, nous avons, d'après les résultats obtenus (25) formules (1) et (2) :

1re distance focale : $Aa = f_0 = \frac{r}{n-1}$

2e distance focale : $Aa' = f'_0 = \frac{nr}{n-1}$

Tout rayon incident parti du point a est réfracté par la première face A parallèlement à l'axe principal, est normal à la seconde face A' et émerge de la lentille parallèlement à l'axe principal. Le point a est donc le *premier foyer principal* F de la lentille; donc la *première distance focale* est :

$$AF = f_0$$

Digitized by Google

Soit maintenant SI un rayon incident parallèle à l'axe principal dont le prolongement rencontre en D' le second plan principal. La première face A réfracte ce rayon incident suivant Ia', qui passe par le second foyer principal a' de cette face et qui rencontre en I' la seconde face A' de la lentille. Les points D', I' appartiennent donc à la direction du rayon émergent I'R dont la position est ainsi déterminée. — Le point F' où ce rayon émergent coupe l'axe principal est donc le *second foyer principal* de la lentille.

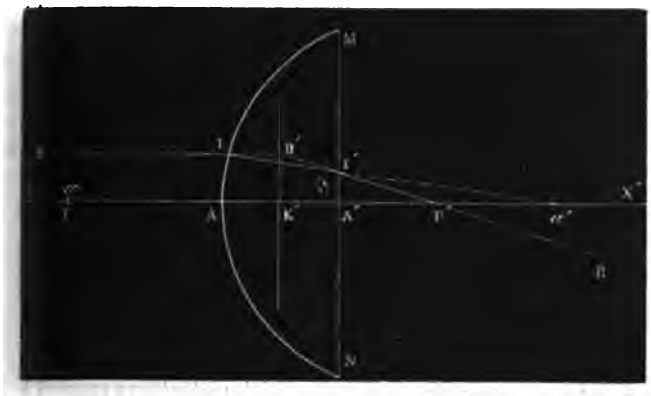


Fig. 216.

Les triangles rectangles semblables a'IA, a'I'A' donnent :

$$\frac{Aa'}{A'a'} = \frac{AI}{A'I'}$$

D'autre part, les triangles rectangles semblables F'D'K', F'I'A' donnent :

$$\frac{K'F'}{F'A'} = \frac{D'K'}{A'I'}$$

Mais, par construction, AI=D'K', donc :

$$\frac{Aa'}{A'a'} = \frac{K'F'}{A'F'}$$

Mais $Aa' = f'_0 = nf_0$,

$$A'a' = f'_0 - e = nf_0 - e,$$

$$A'F' = K'F' - A'K' = K'F' - \frac{e}{n}$$

nous avons donc en substituant :

$$\frac{nf_0}{nf_0 - e} = \frac{K'F'}{K'F' - \frac{e}{n}}$$

D'où l'on tire facilement :

$$K'F' = f_0$$

Dans la lentille plan-convexe, les foyers principaux F, F' sont donc *réels*, et les distances focales *positives* AF, K'F' sont *égales*.

55. En résumé, les éléments fondamentaux de la lentille plan-convexe sont déterminés par les relations suivantes :

1° Le centre optique, le premier point principal et le premier point nodal se confondent au sommet A de la face convexe de la lentille.

2° Le second point principal et le second point nodal se confondent au point K' situé dans l'intérieur de la lentille et déterminé par l'équation :

$$A'K' = \frac{e}{n}$$

3° Les distances focales sont positives et ont pour valeur commune :

$$\varphi = AF = K'F' = f_0$$

Pour déduire les éléments fondamentaux de la lentille plan-convexe des équations (46) qui déterminent ceux de la lentille biconvexe, il suffit de remarquer que dans ces équations les valeurs de f_1, f'_1 sont *infinies*, car le rayon de courbure r' de la seconde face A' de la lentille est *infini*.

Il est évident d'ailleurs que dans la lentille plan-convexe :

1° Les plans focaux jouissent des mêmes propriétés que ceux de la lentille biconvexe.

2° Les foyers conjugués ainsi que les rapports de position et de grandeur d'un objet et de son image sont déterminés par les mêmes formules que dans la lentille biconvexe.

MÉNISQUE CONVERGENT.

56. Soient : MN (fig. 217) un ménisque convergent, C, C' les centres de courbure de ses deux faces, CA = r le rayon de courbure de la première face convexe A *plus petit* que le rayon de courbure C'A' = r' de la seconde face concave A'. — Nous supposons toujours que la lumière pénètre dans la lentille par la face A.

Les foyers principaux de la première face A sont *réels*, et ses distances focales *positives* sont (25), formules (1) et (2) :

1re distance focale : $f_0 = \frac{r}{n-1}$

2e distance focale : $f'_0 = \frac{nr}{n-1}$

Les foyers principaux de la seconde face A' sont *virtuels*, et ses distances focales *négatives* sont (38), formules (1) et (2) :

1re distance focale : $f_1 = -\frac{nr'}{n-1}$

2e distance focale : $f'_1 = -\frac{r'}{n-1}$

En ne tenant compte que des valeurs absolues des distances focales, nous avons donc :

$$(d) \qquad \frac{f'_0}{f_1} = \frac{nr}{n-1} : \frac{nr'}{n-1} = \frac{r}{r'}$$

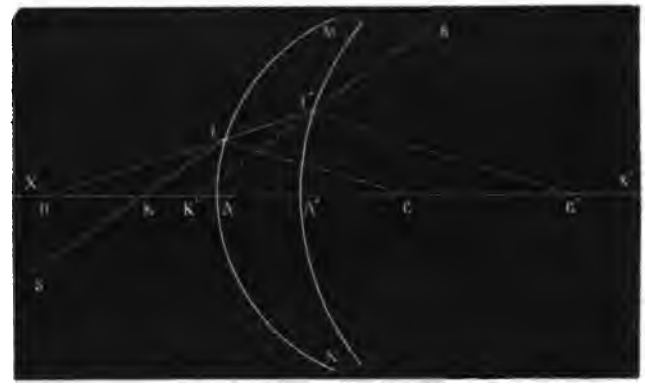


Fig. 217.

57. *Centre optique. — Points nodaux. — Points et plans principaux.* — Par les centres de courbure C, C' (fig. 217) menons les deux rayons parallèles CI, C'I', et la droite II' dont le prolongement coupe l'axe principal en O. — Ce point O est le *centre optique* de la lentille. Car les plans tangents en I, I' sont parallèles ; par suite, le rayon incident SI qui pénètre suivant II' dont le prolongement passe par O, émerge nécessairement sui-

Digitized by Google

vant I'R parallèle à SI. En outre, la position du point O est indépendante de toute hypothèse sur les angles que font les rayons de courbure parallèles CI,C'I' avec l'axe principal. En effet :

D'une part, des triangles rectangles semblables C'I'O,CIO on tire facilement :

$$\frac{AO}{A'O}=\frac{CA}{C'A'}=\frac{r}{r'}$$

D'autre part, en désignant par la lettre e l'épaisseur AA' de la lentille, on a :

$$A'O - AO = AA' = e$$

Ces deux équations déterminent la position du *centre optique* O sur l'axe principal.

Le point K où le rayon incident SI coupe l'axe principal et le centre optique O sont *foyers conjugués* par rapport à la première face A ; le point K' où le prolongement du rayon émergent I'R' coupe l'axe principal et le centre optique O sont *foyers conjugués* par rapport à la seconde face A'. — Donc la position des points K,K' ne dépend que de celle du centre optique O; à tout rayon incident passant par K correspond un rayon émergent parallèle au rayon incident et dont le prolongement passe par K'; les points K,K' sont donc les *points nodaux* du ménisque.

Le *premier point nodal* K est le foyer d'un faisceau de rayons lumineux qui, venant de l'intérieur de la lentille, rencontrent la face A par sa concavité et dont les prolongements concourent en O. — Le *second point nodal* K' est le foyer d'un point lumineux placé en O dans le milieu de la lentille indéfiniment prolongé et rayonnant vers la convexité de la face A'.

Nous avons trouvé que $\frac{AO}{A'O}=\frac{r}{r'}$; mais d'autre part, en ne tenant compte que des valeurs absolues des distances focales des faces de la lentille, nous avons (56) d'après la formule (*d*) $\frac{f'_0}{f_1}=\frac{r}{r'}$, donc les distances du centre optique aux sommets A,A' de la lentille satisfont à la relation suivante :

$$\frac{AO}{A'O}=\frac{f'_0}{f_1}$$

58. Cette dernière relation permet de déterminer géométriquement la position sur l'axe principal du centre optique O en même temps que celle des deux points nodaux K,K'.

Soient a,a' (fig. 218) le premier et le second foyer principal, tous les deux *réels*, de la première face A; b,b' le premier et le second foyer principal, tous les deux *virtuels*, de la seconde face A' de la lentille MN.

Pour la seconde face A' :

1re distance focale : $A'b=f_1=-\frac{nr'}{n-1}$

2e distance focale : $A'b'=f'_1=-\frac{r'}{n-1}$

La parallèle LL' à l'axe principal perce en I,I' les faces de la lentille ; en raison de la très-faible amplitude de ces faces, AI = A'I'. Menons les droites Ia',I'b dont les prolongements se coupent en S, et abaissons la perpendiculaire SO sur l'axe principal; le pied O de cette perpendiculaire est le centre optique. En effet :

Les deux couples de triangles rectangles semblables a'SO, a'IA, et bSO, bI'A' donnent facilement :

$$\frac{AO}{A'O}=\frac{Aa'}{A'b}$$

Le point O est donc le centre optique de la lentille.

Nous avons en outre :

$$A'O - AO = e$$

De ces deux équations on tire facilement :

$$AO=\frac{e\times Aa'}{A'b-Aa'} \qquad A'O=\frac{e\times A'b}{A'b-Aa'}$$

59. Considérons SO comme un objet *virtuel* par rapport à la première face A. — Le point S est à l'entrecroisement des prolongements du rayon incident S'V parallèle à l'axe principal et du rayon incident a'I qui émane du second foyer principal a' de la face A; ces rayons incidents sont réfractés, le premier suivant Va qui passe par le premier foyer principal a de cette face, le second suivant IL parallèle à l'axe principal. L'image du point S est donc en D au point d'entrecroisement de ces deux rayons transmis, la perpendiculaire DK est l'image de SO, K est l'image de O et par suite le *premier point nodal* de la lentille.

Mais l'objet SO, supposé dans le milieu de la lentille prolongé, rayonne vers la face A'.— Du point S part un rayon incident SV' parallèle à l'axe principal et un second rayon incident SI' dont le prolongement passe par le premier foyer principal b de la face A'; ces rayons incidents sont réfractés, le premier suivant V'R dont le prolongement V'b' passe par le second foyer principal b' de la face A', le second suivant I'L' parallèle à l'axe principal. L'image de S est donc en D' au point d'entrecroisement des prolongements de ces deux rayons transmis, D'K' est l'image de SO, K' est l'image de O et par suite le *second point nodal* de la lentille.

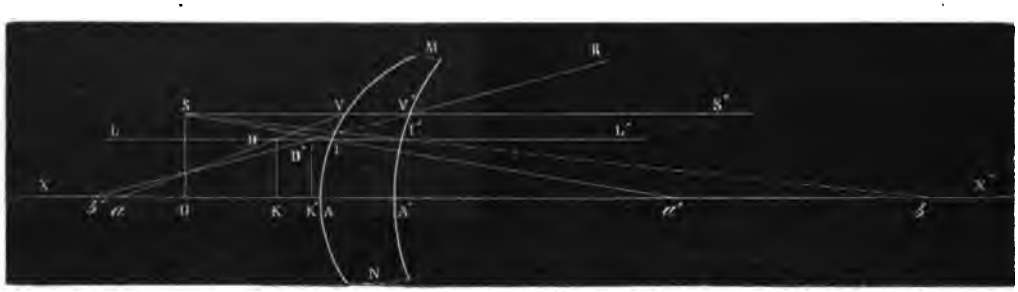


Fig. 218.

Nous avons pour la première face A :

1re distance focale : $Aa=f_0=\frac{r}{n-1}$

2e distance focale : $Aa'=f'_0=\frac{nr}{n-1}$

Il est d'ailleurs évident que les deux images DK,D'K' de SO ainsi obtenues sont droites et de même grandeur. Les plans perpendiculaires à l'axe principal menés par K,K' sont donc les deux *plans principaux* de la lentille, et les points K,K' sont à la fois ses *points nodaux* et ses *points principaux*.

Digitized by Google

60. Pour déterminer la position du premier point nodal K, nous avons deux couples de triangles rectangles semblables aVA, aDK, et $a'SO, a'IA$. En tenant compte des relations $SO = AV$ et $DK = AI$, on obtient :

$$\frac{Aa}{Aa - AK} = \frac{Aa' + AO}{Aa'}$$

Ce qui donne en remplaçant AO par sa valeur $\frac{e \times Aa'}{A'b - Aa'}$,

$$AK = \frac{e \times Aa}{A'b - Aa' + e}$$

Pour déterminer la position du second point nodal K', on a les deux groupes de triangles rectangles semblables $b'V'A', b'D'K'$ et $bSO, bI'A'$.

En tenant compte des relations $SO = A'V', D'K' = A'I'$, on obtient facilement :

$$A'K' = \frac{e \times A'b'}{A'b - Aa' + e}$$

61. *Foyers principaux. — Distances focales.* — De la position des points nodaux et des plans principaux, il est facile de déduire la position des foyers principaux et la valeur des distances focales de la lentille.

Soit SI (fig. 219) un rayon incident parallèle à l'axe principal ; la première face A le réfracte suivant Ia' qui passe par son second foyer principal a' et qui perce en I' la seconde face A' de la lentille. Le point I' appartient donc au rayon émergent de la lentille. Mais ce rayon incident perce en D et en D' le premier et le second plan principal ; le point D' appartient donc à la direction du rayon émergent qui se confond avec la droite D'I'R.

Le *second foyer principal* de la lentille est donc en F', au point où le rayon émergent I'R coupe l'axe principal, et K'F' est la *seconde distance focale*.

En tenant compte de la relation $D'K' = AI$, les deux couples de triangles rectangles semblables $a'IA, a'I'A'$ et $F'D'K', F'I'A'$ donnent :

$$\frac{K'F'}{K'F' - A'K'} = \frac{Aa'}{Aa' - e}$$

En remplaçant A'K' par la valeur $\frac{e \times A'b'}{A'b - Aa' + e}$, cette équation donne pour valeur de la seconde distance focale K'F' de la lentille :

$$K'F' = \frac{Aa' \times A'b'}{A'b - Aa' + e}$$

En suivant la même marche, on déterminerait la position du *premier foyer principal* F et la valeur de la *première distance focale* KF de la lentille :

$$KF = \frac{Aa \times A'b}{A'b - Aa' + e}$$

Mais il résulte des valeurs des distances focales des faces de la lentille (58) que $Aa' \times A'b' = Aa \times A'b$. Donc les distances focales KF, K'F' du ménisque sont égales, et en désignant par φ leur valeur commune, nous avons :

$$\varphi = KF = K'F' = \frac{Aa \times A'b}{A'b - Aa' + e} = \frac{Aa' \times A'b'}{A'b - Aa' + e}$$

62. *Formules définitives.* — La méthode géométrique que nous avons suivie n'a pu donner que les valeurs absolues des éléments fondamentaux du ménisque. Il résulte des conventions adoptées (44), que A'K' est *positif*, tandis que le centre optique O et le premier point nodal K étant en dehors de la lentille du côté de la convexité, les distances AO, AK sont *négatives* ; en mettant en évidence les signes de ces longueurs et aussi les signes *négatifs* des distances focales $A'b$, $A'b'$ de la seconde face A' de la lentille, nous obtiendrons des formules générales qui indiqueront les valeurs réelles de toutes les longueurs et les positions vraies des points cardinaux sur l'axe principal. On a ainsi :

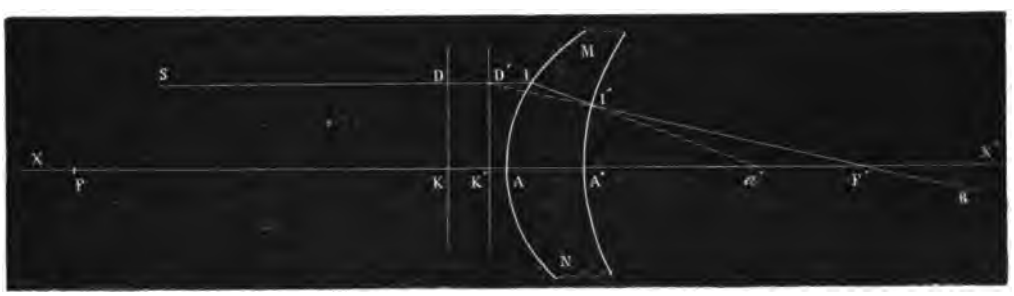


Fig. 219.

1° Pour le centre optique O :

$$(1) \quad \begin{cases} AO = \dfrac{ef'_0}{f'_0 + f_1} \\ A'O = \dfrac{ef'_1}{f'_0 + f_1} \end{cases}$$

2° Pour les deux points nodaux K, K' qui sont en même temps les points principaux :

$$(2) \quad \begin{cases} AK = \dfrac{ef_0}{f'_0 + f_1 - e} \\ A'K' = \dfrac{ef'_1}{f'_0 + f_1 - e} \end{cases}$$

3° Pour la valeur commune des deux distances focales :

$$(3) \qquad \varphi = KF = K'F' = \frac{f_0 f_1}{f'_0 + f_1 - e}$$

En premier lieu, il est facile de voir que, f_1 et f'_1 étant des quantités *négatives*, les valeurs *absolues* des dénominateurs et des numérateurs, n'ont pas changé dans cette transformation. — En second lieu, puisque nous avons pris r' plus grand que r, la valeur absolue de la quantité *négative* f_1 est nécessairement plus grande que celle de la quantité *positive* f'_0, par conséquent tous les dénominateurs sont négatifs.

Les quantités f_0, f'_0 étant *positives* et les quantités f_1, f'_1 *négatives*, les numérateurs ef'_0, ef_0, sont *positifs* et les numérateurs ef_1, ef'_1 *négatifs* ; donc les distances AO, AK sont *négatives*, les distances A'O, A'K' *positives*, et les indications des formules sont parfaitement d'accord avec les positions des points O, K, K', par rapport aux faces de la lentille. — Enfin le numérateur $f_0 f_1$ est nécessairement *négatif*, et les distances

Digitized by Google

focales KF, K'F' sont *positives*, ce qui devait être, puisque les foyers principaux F, F' sont *réels*.

Il suffit donc de donner aux distances focales des deux faces A, A' de la lentille leurs valeurs *réelles* pour que les mêmes formules générales donnent les éléments fondamentaux de la lentille biconvexe et ceux du ménisque convergent.

Ajoutons d'ailleurs que, dans le ménisque convergent :

1° Les plans focaux jouissent des mêmes propriétés que ceux de la lentille biconvexe.

2° Les foyers conjugués et les rapports de position et de grandeur d'un objet et de son image sont déterminés par les mêmes formules que dans la lentille biconvexe.

63. *Remarque.* — Pour que les foyers du ménisque soient *réels*, il suffit et il faut que la valeur $\frac{f_0 f_1}{f'_0 + f_1 - e}$ de ses distances focales soit *positive*. Or, le numérateur étant essentiellement *négatif*, le dénominateur doit l'être aussi ; ce qui donne la condition :

$$f'_0 + f_1 - e < 0$$

Ou, en remplaçant f'_0 et f_1 par leurs valeurs absolues :

$$\frac{nr}{n-1} - \frac{nr'}{n-1} - e < 0$$

D'où l'on tire :

$$r' > r - \frac{n-1}{n} e$$

Telle est la condition nécessaire et suffisante à laquelle doivent satisfaire les rayons de courbure r, r' de la première et de la seconde face, et l'épaisseur e de la lentille pour que les foyers soient *réels*.

Pour que le ménisque soit *convergent*, il n'est donc pas nécessaire que le rayon de courbure r' de la face concave soit *plus grand* que le rayon de courbure r de la face convexe, il suffit que ce rayon r' soit *plus grand* que $r - \frac{n-1}{n} e$.

GAVARRET.

CONGRÈS INTERNATIONAL DE BOTANIQUE DE LONDRES.

DISCOURS DE M. ADOLPHE DE CANDOLLE
(Correspondant de l'Institut).

Des rapports de la botanique et de l'horticulture.

Messieurs,

Une réunion aussi nombreuse d'amis des sciences, d'horticulteurs et de botanistes accourus de toutes les parties de l'Europe, a besoin pour se constituer utilement de comprendre en vertu de quelle idée commune tant de personnes différentes se sont tout à coup rapprochées. C'est à celui qu'on a appelé à l'honneur de vous présider, et qui s'en trouve si peu digne, de faire ressortir le lien qui vous unit, ce lien dont vous n'avez peut-être encore qu'une notion trop vague et pour ainsi dire instinctive.

A mon avis nous ne sommes pas venus à Londres dans le but de satisfaire une pure curiosité d'amateurs.

La preuve en est que nous écoutons ici des discours, au lieu d'errer dans le jardin féerique de l'exposition. Évidemment nous cherchons autre chose qu'un spectacle, et cette autre chose est, si je ne me trompe, de l'instruction. Il ne suffit pas aux horticulteurs de voir, il leur faut aussi étudier et réfléchir. Il ne suffit pas aux botanistes d'observer minutieusement des détails, il leur faut aussi voir des plantes en grand et par masses. Les rapports de la pratique avec la théorie, de l'art avec la science, sont reconnus indispensables, et, conformément à cette idée qui triomphe à notre époque, nous affirmons par notre présence dans cette salle, l'union nécessaire de la botanique et de l'horticulture. Rappeler comment elles s'aident l'une l'autre, indiquer comment elles pourraient s'aider davantage, tel sera l'objet de mes courtes réflexions. Si je ne m'abuse, il résultera des faits auxquels j'aurai à faire allusion, le sentiment que nos efforts communs scientifiques ou pratiques, malgré leur apparence très-modeste, contribuent à augmenter le bien-être des hommes dans toutes les conditions et dans tous les pays.

I. *Utilité de l'horticulture pour la botanique.* — Parlons d'abord des services que l'horticulture rend ou peut rendre à la botanique. Sans être horticulteur moi-même, je les constate ou les prévois volontiers, la marche de la science rendant nécessaire de recourir à toutes les branches collatérales.

Nous ne sommes plus dans ces temps d'illusions où les botanistes ne s'occupaient guère que des plantes d'Europe, un peu de celles d'Orient, et où par timidité d'esprit, plutôt que par ignorance, ils se figuraient les pays lointains comme ayant tous à peu près le même fonds de végétaux, avec un petit nombre d'espèces extraordinaires et exceptionnelles. Un siècle de découvertes a montré l'extrême diversité des flores, la grande localisation de beaucoup d'espèces et l'enchevêtrement compliqué de leurs limites géographiques. Pour voir soi-même toutes les végétations du globe il faudrait réaliser, en quelque sorte, la légende du Juif Errant ; et d'ailleurs, dans des voyages continuels, où seraient les moments de réflexion et d'études qui créent la science proprement dite ? Le voyageur est trop fatigué dans les pays chauds, trop agité dans les régions tempérées favorables à la vie active, trop enveloppé ou engourdi dans les régions froides pour pouvoir se livrer à des recherches attentives sous la loupe et le microscope, et même pour dessiner ou décrire convenablement ce qu'il récolte. Il voit en passant une foule de choses et ne peut presque jamais s'arrêter aux détails, surtout à ceux qui se succèdent. Rarement il peut voir le fruit en même temps que la fleur d'une espèce, et il lui est bien impossible d'étudier le développement complet dans toute l'année. Les notes recueillies par les plus intelligents d'entre eux se ressentent tellement de ces fatales nécessités, que le plus souvent elles n'ajoutent rien à ce qu'un échantillon d'herbier peut apprendre au botaniste sédentaire.

C'est donc l'horticulture qui met à notre portée une foule de plantes exotiques, dans les conditions qui permettent le mieux de les étudier. Grâce aux espèces variées qu'elle sait réunir et faire prospérer, le botaniste peut scruter les questions les plus difficiles, et cela dans des familles ou des genres de plantes qui n'existent point en Europe. Les herbiers permettent des travaux d'analyse plus délicats qu'on ne le pense dans le public, cependant il faut absolument la plante vivante pour certaines recherches, en particulier sur la disposition relative des organes, sur leur origine et leur développement. De même pour l'étude des phénomènes si curieux de la fécondation, ainsi que des mouvements et des directions de la tige, des feuilles et des parties de la fleur.

L'horticulture a beaucoup fait pour le progrès de la physiologie botanique, mais elle a encore une grande carrière à parcourir dans ce sens. Les plus remarquables expériences

Digitized by Google

des physiologistes, celles par exemple de Hales, de Duhamel, de Knight, ont été faites dans les jardins. Il en est de même des longues séries d'expériences de Gaertner fils, et plus récemment de M. Naudin, sur l'hybridation, expériences qui ont trait à la question toujours capitale de l'espèce. On peut en dire autant de la multitude des essais qui se font dans les établissements horticoles pour obtenir de nouvelles races ou variétés. Elles ont une grande portée scientifique, et ce sont les horticulteurs qui en apprennent à cet égard aux botanistes.

On pourrait cependant, ce me semble, augmenter l'utilité des jardins sous le point de vue des expériences de physiologie. Par exemple il y a encore de grandes lacunes à combler au sujet du mode d'action de la chaleur, de la lumière et de l'électricité sur les végétaux. J'ai signalé plusieurs de ces lacunes, en 1855, dans ma *Géographie botanique raisonnée*. Dix ans plus tard, M. Julius Sachs, dans le volume important qu'il vient de publier sur la physiologie botanique, remarque à peu près les mêmes déficits, malgré certains progrès incontestables des connaissances. Le mal est toujours celui-ci : quand on veut étudier l'action d'une température soit constante, soit variable, soit moyenne, soit extrême, ou l'effet de la lumière, il est très-difficile et quelquefois impossible, si l'on observe dans le cours ordinaire des choses, de se dégager des variations incessantes de la chaleur et de la lumière. Dans les laboratoires on peut opérer sous des influences nettement déterminées, mais il est rare qu'elles soient assez durables, et l'on tombe aussi dans l'inconvénient de mettre les plantes trop à l'étroit dans des tubes ou sous des cloches. Cette dernière objection est évidente lorsqu'il s'agit de constater l'influence des gaz répandus dans l'air autour des végétaux ou celle des végétaux eux-mêmes sur l'atmosphère. Mettez les plantes sous un récipient, elles ne sont plus dans une condition naturelle ; laissez-les à l'air libre, les vents et les courants déterminés à chaque instant de la journée par la température dispersent les corps gazeux dans l'atmosphère. Personne n'ignore combien de débats se sont élevés sur l'influence plus ou moins nuisible des vapeurs que les fabriques répandent autour d'elles. La ruine tantôt d'un fabricant, tantôt d'un horticulteur, peut venir de la déclaration d'un expert sur ces sortes d'influences, d'où il résulte pour les savants une impérieuse nécessité de ne rien avancer sur ces questions délicates, à moins d'expériences véritablement probantes.

C'est en vue de ces recherches, dont j'indique seulement la nature, mais qui sont immensément variées quant aux détails, que j'avais posé naguère la question : « Ne pourrait-on pas construire des serres expérimentales, dans lesquelles on serait maître d'obtenir, pour un temps prolongé, des températures déterminées, ou constantes, ou variables, et variables à volonté ? » Ma question a passé comme inaperçue dans un ouvrage volumineux, où elle n'était à vrai dire qu'un accessoire. Je la renouvelle aujourd'hui, en présence d'un public admirablement qualifié pour la résoudre. J'aimerais que dans un grand établissement d'horticulture ou dans un jardin botanique, on put mettre à la disposition de quelque physiologiste ingénieux et exact, une serre appropriée aux expériences de physiologie végétale.

Le bâtiment devrait être à l'abri des variations extérieures de température. Pour cela j'imagine qu'il serait en grande partie au-dessous du niveau du terrain. Je voudrais une construction en maçonnerie épaisse et en forme de voûte. La convexité supérieure qui s'élèverait au-dessus du sol aurait deux ouvertures, l'une au midi, l'autre au nord, afin de recevoir ou la lumière directe du soleil ou la lumière diffuse. Ces ouvertures seraient fermées chacune par deux glaces bien transparentes, fixées hermétiquement. Il y aurait en outre des moyens extérieurs de clôture pour pouvoir obtenir une obscurité complète, et pour diminuer l'influence des variations de température, quand on n'aurait pas besoin de lumière. Par l'immersion dans le sol, par l'épaisseur des murs et en recouvrant les surfaces extérieures avec de la paille, des nattes, etc., on obtiendrait la même fixité de température que dans une cave. La construction voûtée aurait une communication souterraine avec une chambre, dans laquelle se trouveraient la source de chaleur et des appareils d'électricité. On arriverait dans la serre expérimentale par un couloir fermé de portes successives. La température serait donnée par des conducteurs métalliques échauffés ou refroidis à distance. Les mécaniciens ont déjà inventé des procédés pour que la température d'une salle, agissant sur une soupape, détermine la sortie ou la rentrée d'une certaine quantité d'air, de façon que la chaleur soit réglée par elle-même. On pourrait s'en servir lorsque cela serait nécessaire.

Évidemment, au moyen d'une serre ainsi construite, on suivrait des plantes depuis leur germination jusqu'à la maturité de leurs graines, sous des degrés de température et des quantités de lumière parfaitement déterminés. On pourrait alors préciser comment la chaleur agit dans les phases successives, du semis à la germination, de la germination à la floraison, de celle-ci à la maturité des graines. On construirait pour diverses espèces des courbes qui exprimeraient l'influence de la chaleur sur chaque fonction, courbes dont on possède déjà quelques exemples pour les phénomènes les plus simples, comme la germination, l'allongement des tiges et le mouvement des sucs dans l'intérieur de certaines cellules. On constaterait un grand nombre de minima et maxima de température qui existent partout en physiologie, comme limite des phénomènes. On scruterait enfin une question plus compliquée, où la science a déjà fait des progrès, celle de l'action des températures variables, et l'on verrait si, comme cela paraît démontré, ces températures sont tantôt avantageuses et tantôt nuisibles, suivant l'espèce, la fonction envisagée et la partie de l'échelle thermométrique parcourue.

L'action de la lumière sur les végétaux a donné lieu aux expériences les plus ingénieuses. Quelquefois malheureusement ces expériences n'ont abouti qu'à des résultats opposés ou incertains. Les faits le mieux constatés sont l'importance de la lumière du soleil pour la coloration en vert, la décomposition du gaz acide carbonique par les organes foliacés, et certains phénomènes de direction ou de position des tiges et des feuilles. Il reste encore beaucoup à apprendre sur les effets de la lumière diffuse, sur la combinaison du temps et de la lumière, et sur l'importance relative de la lumière et de la chaleur. Une lumière prolongée pendant plusieurs jours ou plusieurs semaines, comme dans les régions polaires, produit-elle, en dégagement d'oxygène et fixation de matière verte, autant d'effet que la lumière distribuée de douze en douze heures comme sous l'équateur? C'est ce qu'on ignore. Il y aurait là, comme pour la température, des courbes à construire, exprimant l'action croissante ou décroissante de la lumière dans chaque fonction, et puisque la lumière électrique est semblable à celle du soleil, on pourrait dans notre serre expérimentale soumettre des végétaux à une lumière continue.

Digitized by Google

La construction supposée permettrait de faire passer la lumière par des verres colorés ou au travers de solutions colorées, pour vérifier l'effet des divers rayons visibles ou invisibles qui entrent dans la composition de la lumière du soleil. Comme exactitude rien ne remplace la décomposition du faisceau lumineux par un prisme, avec fixation des rayons au moyen de l'héliostat. Cependant un bon choix de matières colorantes et une marche logique dans le mode d'expérimentation conduisent aussi à de bons résultats. J'en donnerai pour preuve que les expériences récentes les plus rigoureuses, en ce qui concerne l'action des divers rayons sur la production d'oxygène par les feuilles et sur la coloration en vert, n'ont fait que confirmer les découvertes faites en 1836, sans prisme ni héliostat, par M. le professeur Daubeny, expériences d'après lesquelles ce sont les rayons les plus clairs qui agissent le plus, après eux les plus calorifiques, et enfin les rayons dits chimiques. Le docteur Gardner en 1843, M. Draper immédiatement après, et le docteur C. M. Guillemin en 1857, avaient déjà vérifié au moyen du prisme et de l'héliostat la découverte de M. Daubeny, qui renversait les idées répandues depuis Senebier et Tessier, à la suite d'expériences fautives. On avait cependant de la peine à croire que les rayons les plus réfrangibles, le violet par exemple, qui agissent le plus sur les matières métalliques dans les opérations de la photométrie, soient précisément ceux qui décomposent le moins le gaz acide carbonique dans les plantes et qui influent le moins sur la matière verte des feuilles. Malgré la concordance des résultats obtenus, à la suite de M. Daubeny, par des procédés plus rigoureux et par plusieurs expérimentateurs, les anciennes opinions, plus vraisemblables en elles-mêmes, influaient encore sur les esprits, lorsque M. Julius Sachs dans une série importante d'expériences a constaté une fois de plus la vérité. Ce sont bien les rayons jaunes et oranges qui influent le plus, et les rayons bleus et violets qui influent le moins dans les phénomènes de la chimie végétale, contrairement à ce qui se passe dans la chimie minérale, du moins pour le chlorure d'argent. Les rayons peu réfrangibles, comme l'orange et le jaune, ont aussi la double et contraire propriété qui s'observe pour la lumière blanche, de colorer la matière verte des feuilles et de la décolorer, sous un degré supérieur d'intensité. Ce sont eux aussi qui altèrent la matière colorante des fleurs, lorsqu'elle a été dissoute dans de l'eau ou de l'alcool. Les rayons dits chimiques, tels que le violet et les rayons invisibles au delà du violet, d'après les expériences récentes, confirmatives de celles des anciens auteurs, puis de Sébastien Poggioli en 1817, et de C. M. Guillemin, n'ont qu'une seule propriété bien constatée, celle de favoriser la flexion des tiges de leur côté avec plus d'intensité que d'autres rayons, et cela même serait un effet peut-être plus négatif que positif, si la flexion provient, comme beaucoup le croient encore, de ce qui se passe dans le côté le plus mal éclairé. L'extrême opposé du prisme, celui des rayons caloritiques non visibles à l'œil, a été peu étudié dans ses effets sur les végétaux. D'après les expériences connues il aurait une action assez faible sur toutes les fonctions; mais il vaudrait la peine d'explorer mieux cette région calorifique du prisme, en employant le procédé de M. Tyndall, c'est-à-dire au moyen de l'iode dissous dans du bisulfure de carbone, qui ne laisse passer aucune trace de lumière visible.

Combien toutes ces expériences de laboratoire seraient curieuses à faire en grand! Au lieu de regarder dans de petites cases, ou de petits appareils qu'on tient à la main et où les plantes se voient mal de dehors, on serait soi-même dans l'appareil. On disposerait les plantes à volonté. On observerait plusieurs espèces à la fois et des plantes de toute nature, grimpantes, mobiles, à feuillages colorés, etc., comme des plantes ordinaires. On prolongerait l'expérience aussi longtemps qu'on le voudrait, et l'on aurait probablement des effets inattendus sur la forme ou la coloration des organes, particulièrement des feuilles.

Sur ce point qu'il me soit permis de rappeler une expérience faite en 1853 par M. de Martius. Elle intéressera les horticulteurs aujourd'hui que les plantes à feuillage coloré sont de plus en plus à la mode. M. de Martius avait placé des *Amaranthus tricolor*, pendant deux mois, sous des vitraux de diverses couleurs. Avec du verre jaune la coloration multiple s'était conservée. Les verres rouges avaient gêné un peu le développement des feuilles, et produit à la base du limbe du jaune au lieu de vert, au milieu de la surface supérieure du jaune au lieu de brun rouge, au-dessous une tache rose au lieu de rouge pourpre. Avec des verres bleus, qui laissaient passer un peu de verre et de jaune, ce qui était rouge ou jaune dans la feuille s'était étendu et il n'était resté qu'un bord vert. Sous des vitraux violets, presque purs, la feuille était devenue à peu près uniformément verte. Ainsi au moyen de verres colorés, pourvus qu'ils ne soient pas jaunes, les horticulteurs peuvent se flatter d'obtenir des effets, au moins temporaires, sur la coloration des feuilles multicolores.

L'action de l'électricité sur les végétaux est si douteuse, si difficile à expérimenter, que j'ose à peine la mentionner, mais on comprend à quel point les expériences seraient facilitées par la construction supposée. Quant à l'effet des plantes sur l'air qui les environne et à l'influence d'une certaine composition de l'atmosphère sur les végétaux, on aurait de grandes ressources d'expérimentation par le moyen indiqué. Rien ne serait plus facile que de créer dans la serre expérimentale une atmosphère chargée d'un gaz nuisible, pour savoir comment il agit, dans chaque proportion, de jour et de nuit. On pourrait aussi créer des atmosphères chargées de gaz acide carbonique, telles qu'on suppose en avoir existé à l'époque de la houille. On verrait jusqu'à quel point nos végétaux actuels prendraient plus de carbone à l'air et si leur vie générale s'en accommoderait. On saurait quelles familles de plantes peuvent supporter cette condition, et quelles autres familles n'ont pas pu exister, en supposant que l'air aurait eu jadis une très-forte proportion de gaz acide carbonique.

En attendant que l'agriculture fournisse à la physiologie des moyens d'expérimentation aussi commodes, elle avance la botanique descriptive par les grandes publications qu'elle favorise. La plupart des anciens ouvrages à planches, tels que *Hortus Eystettensis*, *Hortus Elthamensis*, etc., ensuite ceux de Ventenat, Cels, Redouté, etc., puis les *Salictum*, *Pinetum*, du duc de Bedford, et plus récemment les *Rhododendron* de l'Himalaya par Hooker fils, les ouvrages de Bateman, Pescatore, Reichenbach fils sur les orchidées, et bien d'autres que je pourrais citer, n'auraient pas vu le jour s'il n'y avait eu de riches amateurs de jardins pour les éditer ou les acheter. C'est l'horticulture qui nous a donné les plus longues séries de journaux à planches qui aient été publiées, et ici je dois rendre hommage d'une manière toute spéciale aux horticulteurs anglais. Sans doute les figures des *Botanical Magazine*, *Botanical Register*, *Andrews' Repository*, *Loddiges' Botanical*

Digitized by Google

Cabinet, *Sweet's British Flower Garden*, *Paxton's Magazine* et *Flower Garden*, et autres journaux anglais, ne contiennent pas un assez grand nombre des détails d'analyse demandés par la science de notre époque, mais quelle abondance de formes fixées ainsi par la gravure dans les livres, et quelles sources précieuses de documents à consulter ! Il faut admirer ce *Botanical Magazine*, commencé en 1793, continué de mois en mois avec une ponctualité exemplaire, et qui en est aujourd'hui à la planche 5580.

Pourquoi faut-il que ces détails purement bibliographiques évoquent en nous des souvenirs douloureux ? De ces quelques hommes dont je viens de parler, qui ont rendu de si éminents services à l'horticulture botanique, l'Angleterre en a perdu trois dans l'année 1865 : Sir Joseph Paxton, le docteur Lindley, et sir William Jackson Hooker. Assurément je manquerais à ce que vous attendez de moi, si je n'exprimais au nom des étrangers qui assistent à cette séance notre vif regret de pertes aussi sérieuses. Nous connaissons tous par leurs écrits, et plusieurs d'entre nous avaient connu personnellement, les trois hommes d'élite dont je viens de parler. Leurs noms nous poursuivent à chaque pas sur ce théâtre de leurs travaux. Si nous admirons la hardiesse des coupoles de fer qui caractérisent les constructions modernes, nous pensons au Cristal Palace, à Chatsworth, et à l'humble jardinier qui était devenu un grand architecte. Si nous visitons le bel établissement de Kew, nous y voyons partout la preuve de l'activité infatigable de sir William Hooker. Enfin si nous demandons l'origine du jardin de la Société Royale d'horticulture à Kensington, on nous dit qu'il a été un développement de celui de Ghiswick, où Lindley, naguère, brillait par la science et par l'esprit, de cette Société où les botanistes de mon âge ont trouvé dans leur jeunesse des encouragements si précieux pour leurs études.

Les noms de sir William Hooker et du docteur Lindley resteront dans la science, grâce à des ouvrages tout à fait spéciaux. Ces deux botanistes ont été cependant les directeurs de journaux horticoles et de grands établissements d'horticulture, et puisque leur influence avait été si bien acceptée par les hommes pratiques, j'aurai peu de peine à démontrer que la science est utile aux horticulteurs, comme l'horticulture aux botanistes.

II. *Utilité de la botanique pour l'horticulture.* — Les principes de la physiologie végétale sont ce que les horticulteurs et agriculteurs recherchent ordinairement le plus dans les ouvrages de botanique. Ils n'y trouvent pas toujours des réponses directes à leurs questions, mais ils peuvent y puiser certaines règles, certaines manières d'expérimenter et de raisonner, qui leur évitent bien des erreurs. Qu'une idée bizarre soit lancée dans le public par un ignorant ou un charlatan, c'est par des notions générales de physiologie que l'homme pratique peut les rejeter d'emblée, ou au moins s'en défier. Inversement, les nouveautés conformes aux principes peuvent être, je dirai même doivent être, accueillies facilement. Ne croyons pas trop aux bons résultats d'essais faits absolument au hasard. Il en est de ces essais comme des rêves et des pressentiments ; s'ils se vérifient, une fois sur mille on en parle, sans cela on les cache et on les oublie. Au surplus, il faut le dire, les hommes se dirigent presque tous par des théories, seulement les théories des ignorants sont souvent absurdes et sans base, tandis que celles des hommes instruits reposent sur des indices ou sur un ensemble de faits.

A côté de la physiologie, la géographie botanique enseigne la distribution des végétaux sur le globe, leur lutte contre les éléments, leurs migrations, et elle soulève déjà quelques lambeaux du voile qui recouvre la connaissance obscure de leurs origines. Tout cela doit présenter aux horticulteurs un véritable intérêt. Nous approchons de pouvoir constater par des chiffres l'influence de chaque climat sur les végétaux, par conséquent la possibilité pour une espèce de supporter les conditions moyennes et extrêmes de tel pays où l'on voudrait l'introduire. Déjà nous pouvons montrer de la manière la plus claire l'analogie de végétation et de climat de certaines régions éloignées les unes des autres, et indiquer dans quels cas on peut essayer ou l'on doit repousser des tentatives nouvelles de cultures. Un illustre géologue a pu dire d'avance : il y a de l'or dans telle partie de la Nouvelle-Hollande, et l'or y a été trouvé. Nous pouvons dire aussi : l'olivier et le chêne-liége réussiront en Australie ; la région orientale et tempérée des États-Unis est favorable aux cultures de la Chine, en particulier à celle du thé, et la partie de l'Amérique comprise entre San Francisco et l'Orégon, donnera un jour des vins aussi variés et aussi distingués que ceux de notre Europe, entre le Portugal et le Rhin. Chose singulière ! les deux boissons principales de l'homme civilisé, qui produisent quelques effets semblables comme excitants, mais qui s'excluent aussi l'une de l'autre, jusqu'à un certain point, dans les habitudes, le vin et le thé, présentent aussi dans la culture qui les produit des ressemblances et des dissemblances marquées. La vigne et le thé réussissent sur des coteaux pierreux, primitivement inutiles et dont ils centuplent quelquefois la valeur. Selon l'exposition, le sol, la culture et la manière de préparer les produits, on obtient çà et là des crus de vins ou des qualités de thé d'une supériorité incontestable, les récoltes voisines, à quelques pas de distance, étant plus ou moins ordinaires. Les deux arbustes demandent un climat tempéré ; mais la vigne exige de la chaleur et pas de pluie en été ; au contraire le thé demande peu de chaleur pendant l'été et de la pluie : d'où il résulte entre ces deux espèces une incompatibilité géographique presque complète. Les pays de vignobles ne produiront pas de thé, et *vice versâ*.

Mais, dira-t-on, ces exemples tirés de la grande culture, ne concernent ni la botanique ni les jardins. Je prétends le contraire. C'est, à notre époque du moins, la science qui indique les plantes à cultiver et les pays où il faut les introduire. L'horticulture en fait l'essai avec une infinité de précautions. Enfin, lorsqu'elle a réussi, elle livre les jeunes plantes aux procédés nécessairement plus grossiers de l'agriculture. Avant l'introduction si heureuse des quinquinas dans les Indes anglaises et hollandaises, il a fallu des botanistes pour recueillir, distinguer et décrire soigneusement les diverses espèces de Cinchonas d'Amérique ; il a fallu ensuite des horticulteurs pour en faire des boutures, en recueillir les graines, élever les jeunes plantes, les transporter et les établir dans une autre partie du monde, et là, enfin, la grande culture s'en est emparée. Le cafier ne s'est pas répandu de proche en proche d'Arabie dans l'Inde et de l'Inde à Java. Ce ne sont pas les colons Américains qui l'ont fait venir du pays d'origine dans leurs *fazendas* ou *haciendas*. L'arbuste a été d'abord décrit par les botanistes ; ensuite les Hollandais l'ont introduit dans un jardin à Batavia, de là dans le jardin botanique d'Amsterdam, d'où un pied fut envoyé au roi de France, en 1714. L'officier de marine de Clieu transporta l'espèce du jardin de

Digitized by Google

Paris dans les colonies françaises d'Amérique. Il serait facile de multiplier ces exemples. Aujourd'hui la science a fait des progrès, les hommes pratiques s'en servent, les gouvernements et les peuples ont abandonné ces stupides idées d'après lesquelles une culture avantageuse à un pays était supposée nuire aux autres. On peut donc espérer de voir assez promptement les espèces utiles implantées dans toutes les régions où elles peuvent prospérer, au grand avantage de l'humanité.

Parmi les effets de la science au milieu du public horticole, un des plus évidents a été de susciter le goût de formes variées et peu connues. On vivait autrefois, dans les jardins, sur un certain fonds de plantes qui remontaient au temps des croisades, ou même des Romains. La découverte du nouveau monde n'avait pas produit un changement proportionné à son importance, peut-être parce que les horticulteurs ne voyageaient pas assez, ou ne s'adressaient pas aux pays dont les espèces pouvaient le mieux convenir à l'Europe. Les botanistes heureusement furent plus ambitieux. Leurs voyageurs au delà des mers furent nombreux et intrépides. Ils enrichirent les herbiers d'une infinité de formes nouvelles, et l'on publia des ouvrages tels que ceux de Hernandez, Rumphius, Sloane, etc., sur les plantes exotiques. On comprit dès lors l'immense diversité des végétaux, et en fait de goût, l'élégante simplicité des fleurs primitives put lutter contre l'excessive parure des fleurs doubles. Le règne de la tulipe et des pivoines cessa dans les parterres. La curiosité, ce principe moteur de toutes les sciences, ayant pénétré en horticulture, le changement des jardins fut rapide. Au lieu de quelques centaines d'espèces qu'on cultivait au commencement du siècle dernier, ce sont 20 ou 30 000 qui figurent dans l'ensemble des catalogues actuels. La seule famille des Orchidées a probablement plus d'espèces différentes dans nos serres qu'il n'en existait de toutes les familles de plantes il y a cent ans. La mode, unie à la curiosité moderne des amateurs, fait abandonner de temps en temps les vieilles plantes pour de nouvelles, et ainsi le règne végétal tout entier finira par passer sous les regards de l'homme civilisé.

Comment les horticulteurs se reconnaîtraient-ils au milieu de ces invasions d'espèces par milliers, si les botanistes n'avaient imaginé des procédés commodes de classification et de nomenclature? Les familles, genres et espèces ont été disposés dans les livres comme les quartiers, les rues, les numéros de maisons dans nos grandes capitales, avec cette supériorité de méthode que la forme des objets indique leur place, comme si en regardant une maison dans une ville on découvrait par cela même à quelle rue et à quel quartier elle appartient. L'usage de donner un seul nom à chaque espèce, outre son nom de genre, combiné avec l'interdiction de changer les noms sans de justes motifs et de donner le même nom à deux espèces ou à deux genres, dépasse de beaucoup en régularité nos procédés de désignation des individus. Quelle ne serait pas la simplification des relations entre les hommes et la facilité de les trouver un à un, si dans le monde entier, il ne pouvait y avoir qu'une seule famille s'appelant d'une certaine manière, et si chaque individu ne pouvait avoir qu'un seul nom de baptême, différent de ceux des autres personnes de sa famille? Tel est pourtant l'admirable système de nomenclature que la science a mis à la disposition des horticulteurs.

III. *Effets avantageux du rapprochement de la botanique et de l'horticulture.* — En horticulture on a besoin de livres et d'herbiers, comme dans la botanique scientifique on a besoin de plantes vivantes cultivées. De là cette nécessité de plus en plus reconnue que les matériaux à comparer soient rapprochés les uns des autres dans les mêmes villes, dans les mêmes établissements, et même sous une seule administration propre à en faciliter l'emploi. Combien d'institutions en Europe, soit particulières, soit officielles, ont à gagner sous ce rapport! Combien de villes et de pays sont restés en arrière, tantôt en fait de bibliothèques ou d'herbiers, tantôt en fait d'horticulture. Les hommes spéciaux réclament; espérons que l'opinion publique finira par les écouter.

Le rapprochement des moyens matériels d'étude, ai-je dit, est désirable. Celui des idées et des tendances propres, soit aux botanistes, soit aux horticulteurs, ne l'est pas moins. Chacune de ces catégories de personnes doit avoir évidemment des traits distinctifs, mais l'influence de l'une doit se faire sentir sur l'autre. C'est le moyen par lequel certaines dispositions trop exclusives se trouvent combattues et certaines facultés latentes peuvent se développer. L'horticulture, par exemple, a un côté mercantile qui entraîne quelquefois trop loin. Le charlatanisme peut se glisser parmi les fleurs. La botanique, au contraire, est une science; par conséquent elle repose sur la recherche de la vérité pure et simple. En se pénétrant de l'esprit scientifique l'horticulteur s'éloigne nécessairement de tendances trop intéressées. De son côté, l'histoire naturelle, à cause de la perfection même de ses méthodes, de ses nomenclatures et de ses observations minutieuses, a quelque chose de technique et d'aride qui contraste avec la grandeur de la nature et avec le sentiment de l'art. C'est à l'horticulture, en y comprenant le tracé et le décor des jardins, de développer le sens esthétique des savants, comme de tout le monde. Une belle fleur, de beaux arbres, une splendide exposition florale, font naître une sorte d'admiration et même d'enthousiasme, comparable aux effets de la musique ou de la peinture. On vante avec raison la puissance des compositeurs allemands de l'époque moderne et celle des peintres italiens du XVIe siècle, ne peut-on pas dire aussi que les beaux parcs de la vieille Angleterre, sont dans leur genre à une hauteur égale, au point de vue de l'art? Le sentiment de l'harmonie dans les teintes et dans les formes n'y est-il pas étudié aussi? L'effet des contrastes n'y est-il pas habilement calculé? Le passage insensible de l'architecture aux beautés naturelles n'y est-il pas ménagé d'une manière admirable? Oui, assurément, les jardiniers paysagistes anglais ont été poëtes. Ils ont puisé du moins à la même source d'inspiration que les écrivains les plus nationaux de leur pays, et cette source est le sentiment, si général en Angleterre, du beau dans une nature élégante et attrayante quoique sérieuse.

Ainsi, messieurs, pour le développement de nos facultés, comme pour nos intérêts positifs, l'art et la science marchent bien ensemble. Félicitons-nous de leur union, rendue visible aujourd'hui par ce Congrès de botanistes annexé à une grande exposition d'horticulture, et après ces réflexions générales, un peu trop prolongées peut-être, abordons les questions plus véritablement scientifiques auxquelles plusieurs d'entre vous se disposent sans doute à prendre part.

AL. CANDOLLE.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE NUMÉRO 33 14 JUILLET 1866

SOIRÉES SCIENTIFIQUES DE LA SORBONNE.

CONFÉRENCE DE M. LISSAJOUS.

La radiation solaire.

Mesdames, messieurs,

Le soleil nous envoie *chaleur* et *lumière;* la chaleur, sans laquelle la vie physiologique est impossible; la lumière, ce puissant auxiliaire de la vie intellectuelle. Mais il ne borne pas là ses largesses, il intervient dans la vie végétale; c'est sous son influenee que les parties vertes des plantes purifient l'air et lui restituent l'oxygène absorbé par la respiration des animaux et la combustion de nos foyers. Cette intervention de la lumière dans des phénomènes de l'ordre chimique est extrêmement fréquente : tantôt la lumière décolore les substances, tantôt elle les noircit ou modifie leur teinte; de là cet ensemble de procédés qui permettent de l'utiliser comme une sorte de pinceau magique, et nous donnent une image fidèle des grands monuments de l'art, des beaux sites de la nature, ou des traits d'une personne aimée.

Effets calorifiques, effets lumineux, actions chimiques, tels sont les caractères par lesquels se manifeste à nous ce que le soleil nous envoie, et cet ensemble d'effluves mystérieuses, source incessante de fécondité et de vie, constitue ce que nous appelons la *radiation* ou le *rayonnement solaire.* C'est cette radiation, multiple par ses effets, sinon par ses causes, que je vais avoir l'honneur d'étudier avec vous.

Si le soleil nous éclairait à cette heure, nous pourrions l'interroger lui-même à l'aide de l'expérience et le forcer en quelque sorte à nous livrer le secret de sa radiation. Ne regrettez pas trop son absence, son concours fut toujours incertain. Avant que la science n'eût gravi les degrés du grand amphithéâtre pour se manifester avec plus d'éclat à un auditoire plus nombreux, nous avons assisté bien des fois, il y a quelques années, aux angoisses du professeur attendant une éclaircie pour tenter une expérience d'optique, préparant avec grand soin, dans son amphithéâtre encore vide, une séance de démonstration expérimentale, et obligé, au moment de sa leçon, par l'invasion des nuages, à discourir, la craie à la main, sur les mérites du soleil absent.

Aujourd'hui, plus de ces mécomptes; le professeur a sous la main un soleil réduit et complaisant, la lumière électrique. Par son éclat et ses propriétés, elle est l'image fidèle de la lumière solaire. Davy la fit jaillir pour la première fois entre deux pointes de charbon attachées aux pôles d'une pile. L'expérience exigeait, à cette époque, une pile de deux mille éléments. L'invention de la pile si puissante, due à M. Grove et simplifiée par M. Bunsen, permit plus tard d'opérer avec cinquante éléments seulement, mais la lumière était toujours capricieuse, vacillante et difficile à gouverner; M. Léon Foucault, à l'aide d'un ingénieux mécanisme, la força à se régulariser elle-même. Cet instrument, réduit encore dans ses dimensions par M. Dubosq, est devenu une véritable lampe, l'auxiliaire désormais indispensable de toute démonstration expérimentale. M. Dubosq et M. Bourbouze nous aideront aujourd'hui à en régler l'emploi; leur habileté vous est connue, nous apprécions plus encore leur dévouement; à eux se joindra le préparateur du lycée Saint-Louis, M. Baudesson. Après m'avoir aidé à disposer à l'avance la plupart des expériences de cette leçon il vient ici, sur le champ de bataille, partager, en aide de camp fidèle, la fortune bonne ou mauvaise de son général. Je ne dois pas oublier non plus M. Rhumkorff; il a bien voulu nous prêter son concours pour un petit nombre d'expériences seulement; mais, vous le savez, il ne nous fait jamais défaut quand il s'agit d'aider au progrès de la science ou à sa vulgarisation.

Ma dette de reconnaissance payée j'entre en matière.

Le mot même par lequel nous caractérisons ce que le soleil nous envoie rappelle une propriété fondamentale de radiations solaires, celle de se propager en ligne droite. Quand la lumière traverse les interstices d'une voûte de feuillages, elle illumine en passant les poussières soulevées par le vent et laisse dans l'espace une trace brillante dont la forme rectiligne est la démonstration la plus évidente de son mode de propagation; de là le nom de *rayon* donné à la ligne idéale suivant laquelle la lumière se transmet d'un point du soleil à un point de la terre, sorte de trait d'union par lequel il nous communique chaleur, lumière et radiation chimique.

Digitized by Google

La vitesse avec laquelle ces radiations se propagent est immense : elle est de 298 000 kilomètres par seconde, et les expériences faites jusqu'à ce jour n'établissent pas de différence appréciable entre la vitesse de la radiation lumineuse et celle des autres radiations.

Les rayons solaires, en rencontrant les différents corps, éprouvent des modifications dont nous devons nous occuper, car leur étude fixera nos idées sur la nature de la radiation solaire. Tout rayon qui rencontre un corps se partage en deux parties, l'une qui traverse le corps et constitue la partie transmise, l'autre qui rebondit en quelque sorte sur la surface du corps, c'est la partie réfléchie. Si la surface du corps est parfaitement plane et polie, la réflexion se fait suivant une direction unique et déterminée ; au rayon incident correspond un rayon réfléchi, un seul, et tous deux forment des angles égaux avec la perpendiculaire à la surface réfléchissante, de plus ces trois lignes sont dans le même plan.

Fig. 220.

Le rayon réfléchi renferme, comme le rayon incident, chaleur, lumière et radiation chimique : la lumière, on la voit ; la chaleur, on la sent ; quant à la radiation chimique, elle se manifeste en faisant tomber, comme nous le faisons ici, le faisceau réfléchi sur une plaque photographique masquée en partie par une découpure ; l'impression est produite en quelques instants, et, en plongeant la plaque dans le bain révélateur, la radiation chimique laisse une trace foncée partout où la plaque n'a pas été protégée par la découpure.

La loi de la réflexion de la lumière a une conséquence importante qui nous permettra de montrer d'une façon encore plus précise que les trois radiations s'accompagnent dans le phénomène de la réflexion. Si nous exposons en effet aux rayons parallèles du soleil un miroir concave en forme de calotte sphérique, tous les rayons qui tombent sur ce miroir viendront après la réflexion se croiser sensiblement en un point unique où la lumière sera par cela même concentrée ; ce point est en même temps celui où la chaleur se concentre, aussi lui a-t-on donné le nom de foyer. Inversement, si nous plaçons en ce foyer une source de chaleur et de lumière très-réduite et très-puissante, les rayons qu'elle enverra sur le miroir seront réfléchis par celui-ci sous forme de faisceau parallèle.

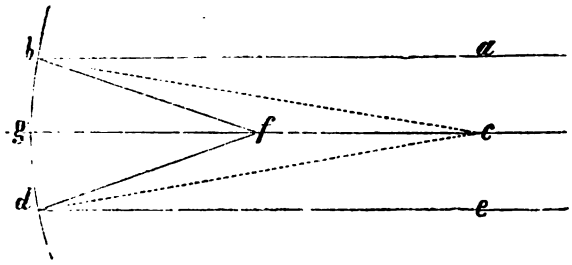


Fig. 221.

Prenons maintenant deux réflecteurs placés en regard l'un de l'autre à plusieurs mètres de distance ; ils ont été fixés l'un sur l'autre à une poutre verticale d'environ 8 mètres de hauteur. Les concavités des deux réflecteurs sont placées en regard l'une de l'autre. Au foyer du réflecteur inférieur nous plaçons une source très-vive de lumière et de chaleur : c'est la lumière Drummond obtenue en dardant sur un fragment de chaux vive la flamme d'un mélange de 2 volumes d'hydrogène et de 1 volume d'oxygène. La lumière émise par ce point incandescent tombe sur le premier réflecteur, de là est renvoyée en faisceau parallèle sur le second qui la concentre à son tour en son propre foyer. Un curseur mobile, à l'aide d'une corde et d'un système de poulies, nous permet de monter à ce foyer un fragment de papier, et nous constatons la concentration de la lumière. Mais bientôt le papier noircit et prend feu, donc au même point il y a concentration de chaleur ; de l'amadou, de la poudre-coton, que nous y transportons, s'allument instantanément. Ainsi, dans le phénomène de la réflexion, la chaleur n'abandonne pas la lumière. On pourrait constater au même point la concentration des rayons chimiques.

Cette concentration de la chaleur solaire par voie de réflexion a été utilisée pour la première fois par Archimède au moyen de miroirs dont la disposition précise ne nous a pas été transmise ; il a pu, si l'on en croit les témoignages historiques, incendier à distance la flotte romaine qui assiégeait Syracuse. Cette tradition s'est transmise d'âge en âge et a été acceptée jusqu'au jour où Descartes en nia l'exactitude, et, avec ce ton de maître que sa grande autorité scientifique lui permettait de prendre, relégua cette histoire parmi les fables. Moins absolu que Descartes, Buffon crut devoir en appeler à l'expérience. A l'époque où il commença son travail, « cette invention, dit-il, était dans le cas de plusieurs autres découvertes de l'antiquité qui se sont évanouies, parce qu'on a préféré la facilité de les nier à la difficulté de les retrouver ».

Buffon commença par constater l'impossibilité de résoudre le problème à l'aide de miroirs concaves faits d'une seule pièce, et il eut alors l'idée d'employer un miroir à facettes, disposé de façon que toutes ces facettes renvoyassent la lumière, et par suite la chaleur au même point. Ce genre de miroir avait été antérieurement employé par le père Kircher. Buffon construisit un châssis considérable portant cent soixante-huit

Digitized by Google

glaces étamées de six pouces sur huit. Ces glaces étaient mobiles dans le châssis, ce qui permettait de diriger tous les faisceaux réfléchis sur le même point, et le châssis était porté sur un pied qui donnait la facilité de l'orienter convenablement par rapport au soleil. A l'aide de ce miroir, Buffon fondit, à quarante-cinq pieds, des assiettes d'argent ; brûla, à deux cent dix pieds, du bois goudronné. Ces expériences démontrent incontestablement que les faits attribués à Archimède n'ont rien de contraire aux principes de la science. En effet, au moment où les navires romains furent la proie de l'incendie, ils étaient, disent les historiens, à la portée du trait, c'est-à-dire à une distance d'environ cent cinquante pieds (1).

Nous n'avons considéré jusqu'à présent que la portion réfléchie de la radiation solaire. Examinons maintenant la partie transmise. Parmi les corps, les uns laissent passer cette partie, les autres semblent l'éteindre; les premiers sont dits transparents, les autres sont appelés opaques. L'opacité disparaît dans un grand nombre de corps sur une épaisseur très-faible, et les métaux eux-mêmes, réduits à une minceur extrême, deviennent transparents. L'or et l'argent nous présentent cette propriété sous une épaisseur qui n'atteint pas 1 millième de millimètre.

Lorsqu'un rayon de lumière rencontre un corps transparent dont la surface est plane et polie, il se brise en quelque sorte à la surface d'entrée, et la route nouvelle qu'il suit, rectiligne comme la route extérieure, présente une direction différente; ce phénomène est connu sous le nom de réfraction; l'écart entre la direction du rayon extérieur ou *incident* et celle du rayon intérieur ou *réfracté* est d'autant plus grand que le premier est plus couché sur la surface. A mesure qu'il se redresse, cet écart di-

Fig. 222.

minue; et, quand il est exactement perpendiculaire à la surface qu'il doit traverser, cet écart devient nul, c'est-à-dire que le rayon réfracté est le prolongement exact du rayon incident.

(1) Le miroir construit par Buffon n'avait que sept pieds de large sur huit de haut; et de plus, comme nous le verrons plus tard, l'emploi de glaces étamées devait amoindrir l'effet dans une proportion considérable. On obtiendrait des effets bien autrement puissants avec des miroirs argentés sur la face réfléchissante. Rien n'empêcherait de décupler la surface du système, et l'on ne dépasserait pas encore la dimension des assemblages de glaces employées au théâtre pour simuler la surface réfléchissante d'un lac.

Cette loi a une conséquence remarquable qui sert de base à la construction de la plupart des instruments d'optique (loupes, lunettes, microscopes, etc.). Si nous taillons une masse de matière transparente (verre ou cristal) en forme de lentille, comme les verres que les vieillards emploient habituellement dans leurs lunettes, et si nous exposons cette masse aux rayons parallèles que le soleil nous envoie, ces rayons vont tous se concentrer en un point situé derrière la lentille et y former un foyer lumineux semblable en tout à celui que nous

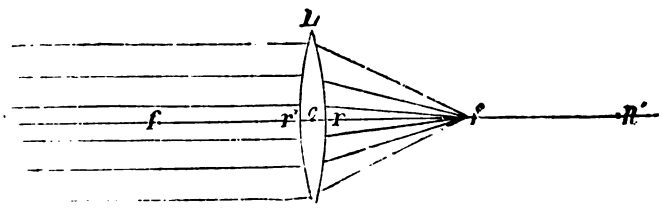


Fig. 223.

ont donné les miroirs concaves. Ce foyer de concentration de la lumière est en même temps un foyer de concentration de chaleur; on y enflamme l'amadou, le papier, la poudre, le fulmicoton. C'est aussi un foyer de concentration des rayons chimiques ; et, en effet, comment se font toutes les épreuves photographiques? à l'aide d'une lentille placée entre l'objet que l'on veut reproduire et un verre dépoli sur lequel les rayons lumineux concentrés par cette lentille viennent peindre une image nette de l'objet? Quand la mise au point est faite, on enlève ce verre et on le remplace par un autre qui apporte *à la même place* une couche d'une substance sensible aux rayons chimiques sur laquelle l'image se trace en quelques instants. En serait-il ainsi si la radiation chimique avait été réfractée par la lentille transparente suivant une route distincte de celle suivie par la lumière?

Ainsi, les trois radiations émanées du soleil se propagent avec la même vitesse, se réfléchissent et se réfractent suivant la même loi; nous les verrions encore se comporter de la même manière si le temps nous permettait de les observer dans un ordre de phénomènes plus délicats, constituant ce que les physiciens appellent la polarisation et la double réfraction.

Nous sommes donc portés dans ce premier aperçu à les considérer comme les manifestations distinctes d'une seule et même radiation. Si nous bornions là notre étude, nous pourrions dire hardiment : Le soleil nous envoie de la lumière, et c'est cette lumière qui produit sur les corps inertes les réactions chimiques; sur notre corps la sensation de chaleur.

Mais la science ne base ses convictions que sur une discussion plus étendue et sur des épreuves plus variées. Il nous faut donc aller plus loin avant d'adopter une opinion définitive.

Et, d'abord, est-il possible d'obtenir à l'état isolé les radiations que nous trouvons réunies dans la radiation solaire? Pour la chaleur, il n'y a aucun doute; nous pou-

Digitized by Google

vons avoir de la chaleur obscure, se propageant, se réfléchissant, se réfractant comme la chaleur lumineuse du soleil. Reprenons en effet nos deux miroirs concaves qui nous ont servi tout à l'heure à enflammer l'amadou, et plaçons au foyer du miroir supérieur un morceau de métal chauffé, au foyer du miroir inférieur un thermomètre très-sensible, nous constaterons qu'il y a en ce point concentration de chaleur. Mais avant de tenter cette expérience, il est nécessaire de dire un mot du thermomètre que nous allons employer. Le thermomètre ordinaire ne pourrait en effet donner d'indication appréciable que pour les auditeurs les plus rapprochés. Celui que nous allons employer montrera ses indications à tout l'amphithéâtre. Il y a, vous le savez, dans tout thermomètre, deux parties, un réservoir qui reçoit l'impression de la température, une tige qui traduit cet échauffement en variations de niveau perceptible à l'œil. L'instrument dont nous allons nous servir présente également deux parties : l'appareil soumis à l'action de la chaleur et l'appareil indicateur. L'appareil indicateur est placé, au milieu de l'amphithéâtre, sur un support invariable attaché à la voûte ; il se compose d'un fil métallique enroulé sur un cadre vertical et d'une aiguille aimantée, librement suspendue et mobile dans un plan horizontal à la façon d'une aiguille de boussole. Les deux bouts du fil se rattachent à l'appareil qui reçoit l'action de la chaleur. Cet appareil est fort simple dans sa construction ; c'est une chaîne repliée sur elle-même et dont les chaînons sont alternativement en antimoine et en bismuth. Si nous numérotons par la pensée les points de contact des chaînons, par suite du pliage de la chaîne les points de contact 1, 3, 5, 7, seront, d'un côté, les points 2, 4, 6, 8 du côté opposé. Ce contact devant être intime, on l'a établi *par voie de soudure*, il y a donc dans notre chaîne repliée en faisceau un certain nombre de soudures paires et un nombre égal de soudures impaires. C'est aux deux bouts de la chaîne que s'attachent les deux bouts du fil de l'appareil indicateur ; et, pour appliquer à ces appareils les noms que la science leur a donnés, nous désignerons l'appareil indicateur sous le nom de galvanomètre, et l'appareil destiné à recevoir l'impression calorifique sous le nom de *pile thermo-électrique*. L'ensemble des deux constitue le thermomultiplicateur ou thermomètre thermoélectrique, et les deux parties de l'appareil, malgré la grande distance qui les sépare ici, sont solidaires l'une de l'autre comme le réservoir et la tige d'un thermomètre.

Comment cet appareil est-il propre à donner des indications thermométriques ? Il suffit pour cela de chauffer une des faces de la pile ; aussitôt il se développe dans l'appareil un courant électrique qui fait dévier l'aiguille. Si la face se refroidit, l'aiguille revient à sa position première ; elle se dévie en sens inverse si l'on chauffe sa seconde face, et en général elle accuse par sa déviation plus ou moins grande la différence plus ou moins grande qui existe entre la température des deux faces de la pile. La déviation de l'aiguille n'est pas plus visible pour tout un auditoire que les mouvements du liquide dans un thermomètre, mais l'on peut facilement la rendre visible en adaptant à l'aiguille un petit miroir vertical qui tourne avec elle ; on projette sur ce miroir un faisceau de lumière partant de la lampe électrique, et ce faisceau réfléchi par le miroir atteint une division tracée sur l'écran ; dès que l'aiguille tourne, le faisceau se meut comme une longue aiguille impondérable fixée à l'aiguille du galvanomètre, et sa trace, en se déplaçant le long de la division, donne la mesure de l'action calorifique exercée sur la pile.

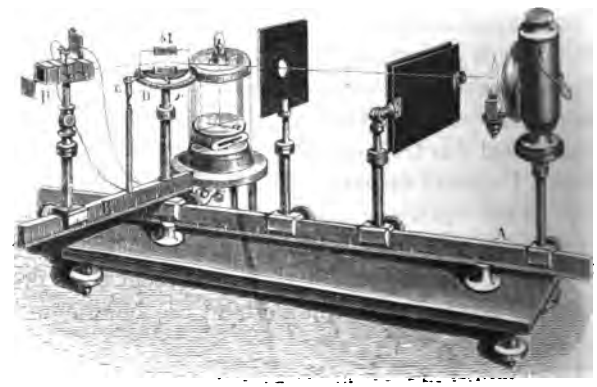


FIG. 224. — Thermo-multiplicateur de Melloni (d'après la *Physique* de M. Ganot).

Nous appliquons donc cet appareil à l'expérience des deux réflecteurs. La pile, enfermée dans un tube, est placée au foyer du réflecteur le plus bas ; les soudures, dirigées vers le bas, sont disposées à recevoir le rayonnement calorifique du corps chaud que l'on monte à l'autre foyer. Tant que le corps chaud est à une distance notable du foyer, la pile ne s'échauffe pas ; dès que le corps chaud a atteint cette position, l'aiguille du galvanomètre est déviée et accuse l'échauffement de la pile. La disposition de l'appareil exclut cette idée que la chaleur a pu se communiquer par l'intermédiaire de l'air ; car l'air, en s'échauffant par le contact du corps chaud, devient plus léger, s'élève et ne peut pas apporter sa chaleur à la pile, placée à plusieurs mètres au-dessous.

Cette expérience prouve donc qu'il existe des radiations obscures, c'est-à-dire de la chaleur rayonnante ne produisant sur l'œil aucune impression lumineuse. On a aussi essayé d'isoler la radiation lumineuse et d'obtenir de la lumière n'accusant aucune action calorifique. Hâtons-nous de dire que l'on n'a pas réussi, et qu'en accroissant la sensibilité des instruments de mesure, en employant des précautions plus grandes pour éviter tout ce qui peut apporter un trouble dans l'observation, on a toujours trouvé que la lumière exerçait une action calorifique appréciable. Il est donc prouvé que l'on peut avoir de la chaleur rayonnante sans lumière, mais les physiciens admettent aujourd'hui qu'il n'y a pas de lumière sans chaleur.

Pour pénétrer plus avant dans l'étude de la radiation

Digitized by Google

solaire, il nous faut donc employer des moyens nouveaux d'analyse. L'un de ces moyens, éminemment puissant, à été trouvé par Newton. Il consiste à faire passer un faisceau de lumière solaire à travers un prisme de verre. Nous faisons l'expérience avec la lumière électrique qui pour nous remplace la lumière solaire, le faisceau est réfracté par le prisme; mais à la sortie il s'épanouit en un large éventail coloré des teintes de l'arc-en-ciel. Cet éventail atteint l'écran placé derrière moi, et y produit une longue bande lumineuse de 2 mètres de longueur où nous voyons se succéder les teintes suivantes dont les noms forment un vers alexandrin :

Violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé, rouge.

Cette bande est ce qu'on appelle le *spectre solaire*.

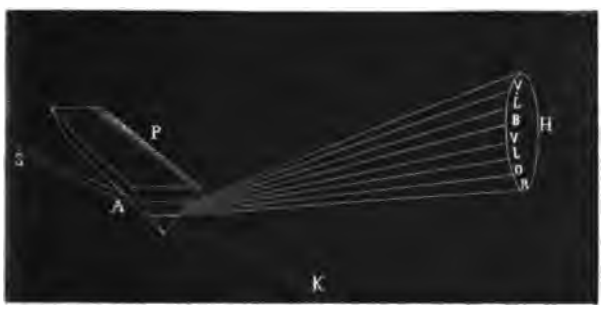


Fig. 225.

Ces teintes n'ont pas été créées par le prisme, elles ont été séparées par lui, et elles préexistaient dans la lumière blanche du soleil. Recevons en effet cet éventail de couleurs brillantes sur une lentille, tous les rayons qui le composent vont être concentrés par la lentille en une seule et même région où se produira une accumulation de lumière blanche; au delà et en deçà les couleurs apparaîtront, mais en sens inverse. La lumière blanche du soleil est donc composée de rayons diversement colorés, et ces rayons sont inégalement déviés par leur réfraction à travers le prisme, on dit donc qu'ils sont inégalement *réfrangibles*. Les rayons les moins déviés sont les *rayons rouges*, les plus déviés sont les *rayons violets*, on dit donc que les premiers sont les moins *réfrangibles*, que les autres sont les *plus réfrangibles*.

Le mélange en diverses proportions de ces diverses teintes permet d'obtenir toutes les couleurs possibles, le spectre est en quelque sorte la palette inépuisable où sont puisés tous les tons de la nature. Parmi les tons produits dans cette combinaison, il y en a qui imitent à s'y méprendre certains tons du spectre, ainsi le vert peut s'obtenir en mélangeant du bleu et du jaune, le violet en mélangeant du rouge et du bleu, mais le vert et le violet du spectre n'en sont pas moins des teintes absolument simples, et en isolant une de ces teintes et la soumettant à l'action d'un deuxième prisme on l'étale mais on ne la divise pas.

L'expérience de Newton nous montre donc les éléments de teinte différente en nombres infinis renfermés dans la lumière que nous envoie le soleil, mais le rayonnement solaire renferme en outre de la chaleur et des radiations chimiques, comment le prisme agit-il sur ces deux radiations?

Pour le savoir, promenons dans le spectre notre pile thermo-électrique, le mouvement de l'aiguille du galvanomètre, traduit par le déplacement du rayon lumineux que réfléchit son miroir, nous indiquera la proportion plus ou moins grande de chaleur contenue dans les diverses parties du spectre.

Je commence par le violet, la chaleur n'est pas appréciable; je passe dans le bleu, elle commence à peine à se montrer; le vert paraît plus chaud, et la chaleur croît dans le jaune; la chaleur suit donc jusqu'à présent, dans son accroissement d'intensité, l'accroissement d'intensité de la lumière.

Mais au delà du jaune, c'est l'inverse, l'orangé est moins brillant que le jaune, il est notablement plus chaud, et à mesure que nous pénétrons dans le rouge, dont les rayons extrêmes sont à peine visibles, la puissance calorifique croît avec une grande rapidité. Allons au delà du rouge, la chaleur est encore plus manifeste, et le point où la pile reçoit la plus forte action est au delà du rouge, à une assez grande distance. En employant un prisme de sel gemme dont le rôle sera expliqué plus tard, on peut trouver le maximum calorifique à une distance égale à la moitié environ de la longueur du spectre, et si l'on cherche jusqu'à quelle limite s'étend l'action calorifique, on trouve de la chaleur au delà du rouge à une distance égale à la longueur du spectre lui-même.

On a représenté graphiquement, au moyen d'une courbe, la proportion de chaleur en chaque point du spectre, et dans la partie située au delà du rouge, dans cette courbe, la hauteur de chaque point au-dessus de la ligne horizontale, qu'elle rejoint à ses deux extrémités,

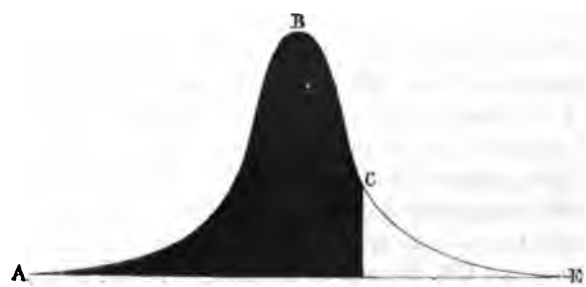


Fig. 226.

représente l'intensité de la chaleur en ce point; nous voyons que cette intensité est infiniment plus considérable en dehors du spectre que dans le spectre lui-même, nous constatons au delà du rouge une sorte de montagne de chaleur dont le sommet s'élève par une pente rapide au-dessus des régions voisines.

Après avoir étudié le spectre au point de vue calorifique, nous pouvons l'étudier au point de vue chimique. Il suffit pour cela de le projeter, comme nous le faisons ici, sur une lame de verre préparée pour recevoir une épreuve photographique. Après quelques secondes d'ex-

Digitized by Google

position, nous faisons apparaître l'épreuve, et nous remettons la lame de verre à sa place; il est facile de voir alors que l'impression ne commence que dans le bleu et s'étend bien au delà du violet.

Il semble donc qu'il y ait dans le spectre solaire trois spectres distincts, mais partiellement superposés, le spectre lumineux, le spectre calorifique, le spectre chimique.

Pour établir la liaison qui existe entre ces trois radiations, il faut les étudier d'abord dans la partie du spectre visible où elles se superposent, et examiner si les modifications apportées à la radiation lumineuse qui arrive en un point donné du spectre entraîne une modification correspondante dans la radiation calorifique et la radiation chimique.

Parmi les moyens propres à cette étude, un des plus caractéristiques consiste dans l'interposition de lames transparentes de diverses couleurs sur le trajet du faisceau que l'on soumet à l'action décomposante du prisme.

Si nous faisons passer ce faisceau à travers des verres diversement colorés, nous reconnaissons que certaines teintes du spectre sont affaiblies considérablement, et même complétement éteintes.

Il y a même des verres qui ne laissent passer qu'une seule couleur, les verres rouges, par exemple, on les appelle monochromatiques.

Parmi les substances transparentes, il y en a qui éteignent un certain nombre de couleurs, et par suite de leur interposition le spectre se trouve sillonné de bandes obscures perpendiculaires à sa longueur. Ce phénomène se produit facilement en interposant sur le trajet du faisceau lumineux ce gaz d'un jaune rougeâtre que l'on produit en faisant agir l'eau-forte sur le cuivre, gaz que les chimistes désignent sous le nom d'acide hypoazotique.

Cette production de bandes observées dans le spectre, par interposition de substances convenablement choisies, offre un grand intérêt. En effet, l'expérience a prouvé que le spectre de la lumière solaire était sillonné d'un nombre considérable de bandes transversales d'une finesse comparable à celle d'un cheveu, c'est ce que l'on appelle les raies du spectre. La cause de ces raies a été trouvée par MM. Bunsen et Kirchoff, et ils ont démontré qu'il fallait les attribuer à l'absorption d'une partie de la lumière du soleil par des métaux maintenus à l'état de vapeur dans l'atmosphère incandescente qui entoure cet astre.

Ces raies ont dans le spectre une position invariable, et fournissent ainsi des points de repère dont les physiciens sont heureux de se servir dans beaucoup de circonstances.

En même temps que nous absorbons par l'interposition des écrans transparents les rayons lumineux des parties visibles du spectre, nous absorbons les rayons calorifiques ou lumineux qui existent dans ces diverses parties, ainsi, les verres qui ne laissent pas passer les rayons rouges arrêtent la portion de chaleur appartenant au rouge du spectre, les verres qui ne laissent pas passer les rayons bleus et violets interceptent les rayons photogéniques dont cette partie du spectre est si abondamment pourvue. Les raies mêmes du spectre se reproduisent photographiquement à la place exacte qu'elles occupent dans le spectre (comme l'a constaté en 1843 M. Edmond Becquerel), par conséquent, là où manque le rayon lumineux, il n'y a pas de rayon chimique. S'il était possible de réduire le réservoir d'un thermomètre à la dimension d'un cheveu, on pourrait constater de même que partout où il y a une raie dans le spectre la chaleur disparaît complétement. A défaut de cette démonstration, on a pu constater que l'absorption d'une certaine fraction de la lumière correspondant à un point donné du spectre ne peut avoir lieu sans qu'il y ait absorption d'une portion égale de chaleur. Supprimez le tiers, le quart, le cinquième de la lumière, et vous supprimez par cela seul le tiers, le quart, le cinquième de la chaleur. (Cette expérience a été faite en 1850 par MM. Masson et Jamin; MM. Laprovotaye et Desains avaient, en 1849, donné une démonstration indirecte du même principe, et avaient complété leurs recherches par une démonstration tout à fait directe à l'époque où MM. Masson et Jamin exécutaient les leurs.)

Après avoir étudié l'action des corps transparents sur la partie visible du spectre, nous sommes amenés à étudier leur action sur la partie invisible, nous trouvons que cette partie invisible passe librement à travers certains corps et est absorbée par d'autres, ainsi le sel gemme, le sulfure de carbone, laissent passer la partie calorifique invisible située au delà du rouge, l'alun en dissolution ou en lame l'arrête, le verre blanc laisse passer la partie chimique située au delà du violet, la dissolution de sulfate de quinine l'arrête.

De ce qu'un corps est transparent pour la lumière, il n'en résulte donc pas qu'il soit transparent pour les rayons invisibles calorifiques ou chimiques.

Les verres jaunes, par exemple, sont très-transparents pour les parties les plus éclairantes du spectre, mais ils absorbent les rayons bleus violets et ultra violets, c'est-à-dire tous les rayons photogéniques. Aussi les photographes peuvent-ils effectuer toutes leurs préparations dans des laboratoires fermés par des verres jaunes avec autant de sécurité que s'ils opéraient dans la plus complète obscurité.

On peut trouver, au contraire, des corps opaques pour les rayons lumineux qui sont tout à fait perméables aux rayons invisibles, telle est la dissolution d'iode dans le sulfure de carbone, corps absolument opaque, même sous faible épaisseur, et qui laisse passer la presque totalité de la chaleur obscure située au delà du rouge.

(Cette expérience est faite à l'aide de la pile thermo-électrique placée dans le spectre, au delà du rouge dans le point correspondant au maximum calorifique. On interpose en avant du prisme une cuve à faces parallèles

Digitized by Google

remplie d'une dissolution d'iode, le spectre tout entier est éteint, et l'aiguille du galvanomètre reste fortement déviée).

Ces dernières expériences nous conduisent à conclure qu'il ne faut pas juger de la puissance calorifique d'une somme de lumière par son éclat. En effet, en interposant sur le trajet des rayons solaires certaines substances transparentes, nous pouvons, sans affaiblir sensiblement leur éclat, amoindrir considérablement leur puissance calorifique; en opérant à l'aide de matières qui interceptent la partie visible du faisceau, nous pourrons laisser dans ce faisceau tous les rayons invisibles situés au delà du rouge, et qui contribuent pour les 9/10e à l'effet calorifique. On peut rendre cette démonstration saisissante par la disposition suivante : voici trois ballons, le premier renferme du sulfure de carbone, le second de l'iode dissous dans le sulfure de carbone, le troisième une dissolution saturée d'alun. Je place le premier sur le trajet du faisceau qui sort de la lampe électrique, ce faisceau se concentre derrière le ballon et forme un foyer éclatant de lumière, j'y place de l'amadou, il prend feu, de la poudre-coton, elle détonne; je remplace ce ballon par le deuxième, tous les rayons lumineux sont arrêtés, et cependant, dans cette obscurité complète, à la même distance du ballon se trouve un foyer non de lumière, mais de chaleur presque aussi puissant que le précédent, car l'amadou y prend feu instantanément, et le coton-poudre y détonne avec la même facilité. Cette curieuse expérience est due à M. le professeur Tyndall. Expérimentons maintenant avec le troisième ballon; il nous donne comme le précédent un foyer lumineux, mais en ce point le coton-poudre reste sans détonner, quoiqu'il soit éblouissant de lumière, et l'amadou ne prend feu qu'après un temps beaucoup plus long.

Cette démonstration nous conduit à revenir aux miroirs de Buffon dont nous avons parlé au début de cet entretien. Lorsque Buffon voulut constituer son grand miroir, il commença par examiner quels étaient les miroirs qui réfléchissaient la plus forte proportion de lumière; et il vit que cette condition était remplie par les glaces étamées. Il en conclut, d'après les idées de son temps, que ce genre de réflecteur était préférable aux réflecteurs métalliques, dont le pouvoir réfléchissant pour la lumière était bien moins considérable. Aujourd'hui on ne se hâterait pas de conclure de la même manière; en effet, un corps peut réfléchir en très-faible proportion les rayons lumineux contenus dans la partie visible du spectre, et réfléchir au contraire en grande proportion les rayons calorifiques invisibles, ce corps formera un réflecteur préférable à celui qui réfléchirait en abondance les rayons visibles, tandis qu'il ne fléérchirait pas les rayons calorifiques non visibles. Or, les miroirs de Buffon appartiennent à ce deuxième groupe, car le verre dont ils sont formés est un des corps qui absorbe le plus les rayons calorifiques situés au delà du rouge dans le spectre, tandis que les miroirs d'Archimède qui étaient sans aucun doute des miroirs métalliques, appartenaient au premier groupe, et devaient donner à égalité de surface un effet calorifique beaucoup plus considérable. Buffon, en voulant faire mieux qu'Archimède, a donc obtenu des effets certainement inférieurs à ceux que le géomètre syracusain avait produits. Mais, par cela même, il a fourni un argument plus décisif en faveur de la cause qu'il avait entrepris de défendre et la réhabilitation des miroirs ardents d'Archimède réalisée par Buffon est encore plus complète qu'il ne le pensait.

Une expérience décisive va vous en fournir la preuve. Voici quatre réflecteurs pareils de verre argenté; deux d'entre eux sont argentés extérieurement à la manière des glaces d'appartement, c'est-à-dire que la lumière et la chaleur n'atteignent la surface réfléchissante qu'après avoir traversé le verre; les deux autres sont argentés sur la surface intérieure, qui réfléchit immédiatement la lumière et la chaleur sans qu'elles aient traversé le verre. Ces miroirs se comportent absolument comme s'ils étaient d'argent massif.

A l'aide du deuxième couple de miroirs, je constitue un système semblable à celui dont je me suis servi au début de cet entretien pour enflammer l'amadou et le coton-poudre. L'expérience réussit sans difficulté. Je substitue aux miroirs à surface métallique les miroirs du premier groupe, cette fois les rayons traversent quatre fois l'épaisseur du verre, l'éclat du foyer lumineux n'est pas affaibli, et cependant quelle différence dans la puissance calorifique! le coton-poudre ne détone plus, et l'amadou ne prend feu qu'à grand'peine.

Nous avons là l'image fidèle de la différence entre la puissance calorifique des miroirs de Buffon de verre étamé, et des miroirs métalliques d'Archimède, et permettez-moi d'ajouter que, même avec un poli très-imparfait, ces derniers, l'expérience le prouve, seraient encore de beaucoup supérieurs.

Résumons maintenant, messieurs, les conséquences scientifiques de l'étude expérimentale dont je vous ai rendus témoins. Il ne peut y avoir pour nous, dans ce que le soleil nous envoie, que des rayons visibles et des rayons invisibles. Le prisme nous les a séparés et étalés dans cette bande aux teintes variées que nous avons appelé le spectre, dans lequel la partie visible est bordée de part et d'autres par des espaces encore plus grands, les deux régions invisibles. Si la puissance de l'œil est limitée du côté du rouge, il faut s'en prendre à sa structure et à la nature des matières qui le constitue. L'œil, en effet, dont je vous montre ici une figure grossie, est formé de milieux transparents mais d'une nature telle que les rayons de la région la moins réfrangible du spectre sont absorbés avec énergie. Ces rayons si puissants sur le thermomètre n'atteignent pas cette membrane délicate, la rétine, placée au fond de l'œil pour recueillir l'image des objets extérieurs. C'est là un bienfait de la Providence sans lequel la rétine serait brûlée

Digitized by Google

comme l'ont été dans nos expériences les corps combustibles, dès que nous fixerions pendant quelques secondes seulement un corps incandescent. A l'autre extrémité du spectre, la lumière disparaît également, mais par une autre cause; dans cette région, la radiation est trop faible pour ébranler notre système nerveux. Cet amoindrissement de l'intensité de la radiation solaire dans cette région du spectre est démontré nettement par le thermomètre qui ne peut y accuser de différence appréciable de température.

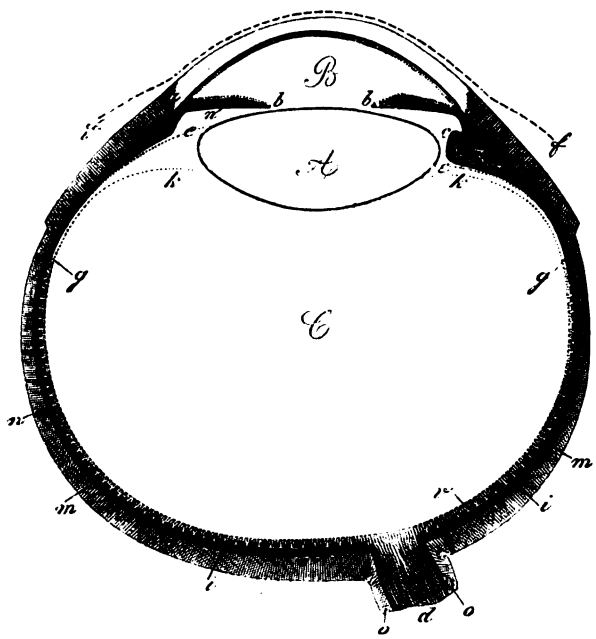


Fig. 227. — Coupe de l'œil.

Comment donc ces rayons ultra violets insensibles à la vue et même au thermomètre, peuvent-ils exercer des actions énergiques sur les substances photogéniques? C'est que, dans ce genre d'action, le temps intervient, tandis que dans l'action sur l'œil et sur le thermomètre, le temps n'intervient pas. Plaçons un thermomètre sur le trajet du rayon lumineux dès qu'il a pris sa température d'équilibre, il reste à un état stationnaire que le temps ne modifie pas. Regardons une bougie et l'impression qu'elle produit sur l'œil restera indéfiniment la même. Exposons, au contraire, une plaque daguerrienne ou un verre recouverts d'une substance sensible au contact de rayons photogéniques, à chaque fraction de seconde, correspond une certaine quantité de matière décomposée, et quelque faible que soit la force appliquée en chaque point, il y aura toujours par chaque centième de seconde un certain résultat produit, et ces résultats s'ajoutant avec le temps finiront par donner une somme appréciable. Quant à comprendre pourquoi certains rayons sont efficaces au point de vue chimique, et pourquoi d'autres ne le sont pas, il n'y a rien là qui répugne à notre raison; cela tient à la dépendance qui doit exister entre les rayons qui agissent et la nature des corps qui subissent l'action. L'expérience montre, en effet, que les rayons les plus actifs pour une substance ne sont pas ceux qui donnent le maximum d'activité pour une autre, et l'avenir prouvera, sans aucun doute, sur des substances nouvelles, l'action des rayons du spectre qui, jusqu'à présent, ont paru dénués d'activité chimique.

Nous ne devons donc pas considérer la radiation solaire comme formée de trois radiations distinctes, la radiation lumineuse, la radiation calorifique et la radiation chimique, nous n'avons, en réalité, qu'un seul genre de radiation formé, il est vrai, d'une infinité d'éléments inégalement réfrangibles. Cette radiation, suivant la nature de l'organe qui la perçoit produit la sensation de chaleur ou la sensation de lumière, elle peut aussi, dans certains cas, déterminer des réactions chimiques, mais ces divers effets ne sont que des manifestations différentes d'une seule et même puissance.

Je ne puis pas, messieurs, terminer cet entretien sans vous donner une idée sommaire de la manière dont les physiciens expliquent la radiation solaire.

Deux théories principales ont été en présence dans le passé, celle de l'émission, dont le plus éminent défenseur a été Newton. Celle des ondulations, dont Mallebranche a eu la première idée, qui a été constituée par Huyghens, et qui a triomphé entre les mains de Fresnel et d'Arago. De ces deux théories, une seule règne aujourd'hui, c'est celle des ondes, et, chose remarquable, Newton lui-même l'avait admise pour l'explication des phénomènes de la chaleur rayonnante.

Dans la théorie de l'émission, le soleil est un centre d'où s'élancent incessamment avec une vitesse énorme des quantités considérables de globules infiniment petits, dont le choc produit sur nos yeux la sensation de lumière.

Dans la théorie des ondes, le soleil est un centre de vibrations rapides qui se transmettent par l'intermédiaire d'un milieu impondérable et élastique *l'éther*, comme les vibrations sonores se propagent par l'intermédiaire de l'air, et comme les ondes produites par le choc d'une pierre se transmettent à la surface de l'eau. L'éther, en raison de sa ténuité extrême, pénètre tous les corps, sert de véhicule aux ondulations lumineuses. La propagation des ondes lumineuses est donc analogue à celle des ondes aériennes et à celle des ondes formées à la surface de l'eau. Nous disons analogue et non identique. Elle en diffère notamment par sa vitesse, qui est de 300 000 kilomètres par seconde, tandis que celle des ondes sonores est de 340 mètres dans l'air. Elle en diffère aussi par la rapidité des vibrations qui excitent cette propagation ondulatoire, car tandis que les vibrations sonores perceptibles à l'oreille varient de 32 à 73 000 par seconde, les vibrations lumineuses varient de 450 trillions à 760 trillions par seconde. Les vibrations les plus rapides correspondent à l'extrême violet, les plus lentes à l'extrême rouge. Comme si dans l'harmonie des couleurs le rouge correspondait aux tons les plus graves, le violet aux tons les plus aigus. Comparé à l'échelle musi-

Digitized by Google

cale, l'échelle des vibrations lumineuses n'embrasse pas une octave; mais si nous la complétons par l'addition des vibrations correspondant aux parties invisibles qui prolongent le spectre dans les deux sons, nous atteindrons une étendue totale de trois octaves environ.

Cette théorie a sa confirmation dans un grand nombre d'expériences, dont la plus caractéristique est celle qui consiste à produire de l'obscurité par la superposition de deux rayons lumineux; ce fait inexplicable dans la théorie de l'émission est une conséquence nécessaire de la doctrine ondulatoire.

Un autre fait décisif en faveur de cette dernière doctrine est la propriété de la lumière, si elle est due à un mouvement ondulatoire, de cheminer plus vite dans l'air que dans l'eau (la théorie de Newton conduit à un résultat contraire).

L'expérience était trop décisive pour ne pas être tentée. Arago l'essaya au moyen d'une disposition qui en rendait la réalisation très-difficile. M. Léon Foucault, par une modification ingénieuse, véritable trait de génie, la rendit possible et presque facile, et eut l'honneur de constater le premier que l'expérience donnait encore raison sur ce point à la doctrine ondulatoire.

Cette doctrine a encore l'avantage d'expliquer avec grande facilité une des propriétés les plus curieuses de la lumière. On sait que quand on chante au voisinage d'une harpe ou d'un piano, l'instrument résonne et continue à faire entendre pendant un temps plus ou moins long les sons qu'on a produits dans son voisinage. Les ondes lumineuses produisent le même effet. Quand la lumière tombe sur un corps, l'éther contenu dans ce corps se met à vibrer, et à nous envoyer de la lumière comme la harpe ébranlée par la voix nous envoie un son. Mais, de même que le son, la lumière ne cesse pas tout de suite. Pour certains corps elle peut durer plusieurs heures. Ainsi, certaines substances soumises à l'action de la lumière solaire, et rapportées ensuite dans l'obscurité, brillent d'un vif éclat pendant un temps qui se prolonge plus ou moins. Ces substances sont dites phosphorescentes. Pour quelques-unes, la durée de la phosphorescence est longue; pour d'autres, elle n'est que de quelques secondes; pour d'autres enfin, elle n'atteint qu'une faible fraction de seconde. On peut néanmoins la constater à l'aide du phosphoroscope de M. Edmond Becquerel. Permettez-moi de chercher à vous donner une idée de cet ingénieux appareil.

Supposons une boîte placée sur le volet d'une chambre obscure; cette boîte, au moyen de deux ouvertures A et B peut être mise en communication soit avec l'extérieur, soit avec l'intérieur. Le corps à étudier est placé dans cette boîte. Fermons l'ouverture B, ouvrons l'ouverture A, et dirigeons sur cette ouverture les rayons du soleil. Le corps reçoit l'impression de la lumière sans qu'aucun rayon pénètre dans la chambre obscure. Maintenant, fermons A et ouvrons B, le corps est en communication avec l'intérieur, sans qu'il arrive dans la chambre aucun rayon du dehors. Si le corps est resté lumineux, nous l'apercevons, et en renouvelant rapidement cette manœuvre, nous ne lui laisserons pas le temps de s'éteindre. Dans l'appareil de M. Edmond Becquerel, cette succession de manœuvres s'effectue très-simplement au moyen de disques percés d'ouvertures tournant simultanément autour d'un même axe, les pleins d'un des disques correspondent aux vides de l'autre; de cette manière il n'y a jamais qu'une face de la boîte qui soit ouverte à la fois, la grande vitesse de rotation que l'on donne au disque permet de renouveler l'action du soleil à intervalles assez rapprochés pour que l'extinction n'ait pas le temps de se produire, même quand la durée de la phosphorescence est de quelques millièmes de seconde seulement.

En employant ici quelques fragments de nitrate d'urane, nous arrivons à mettre le phénomène en évidence, et ce corps placé dans le phosphoroscope nous donne, vous le voyez, une belle lumière verte.

On peut aussi réaliser les effets que fournit le phosphoroscope en éclairant les substances phosphorescentes à l'aide de la lumière intermittente que donne la bobine d'induction de M. Rhumkorff. On introduit ces substances dans un tube traversé à ses deux bouts par des fils fins de platine. On fait le vide dans ces tubes et l'on fait ensuite passer entre les deux fils l'étincelle de la bobine d'induction, cette étincelle se convertit dans le vide en une belle lueur violacée qui excite les substances phosphorescentes exposées à son action, et nous voyons ces substances briller d'un vif éclat; on peut même arrêter la décharge de la machine, et celles de ces substances qui sont très-phosphorescentes continuent à briller encore pendant quelque temps dans l'obscurité. La même expérience peut se faire avec des liquides entourant le trajet de l'étincelle.

D'autres corps ont la propriété de s'illuminer même dans la partie invisible du spectre, tel est le sulfate de quinine, ces corps transforment en rayons visibles les rayons invisibles qu'ils reçoivent. Ainsi, le sulfate de quinine exposé aux rayons violets et ultra-violets se teint d'une brillante couleur bleu. C'est là le phénomène découvert par M. Stokes, et connu sous le nom de fluorescence.

Faisons tomber le sulfate de quinine en cascade dans ce vase de cristal éclairé par des rayons violets, et vous le voyez apparaître sous forme d'un liquide bleuâtre qui jaillit en gerbes lumineuses et en gouttes d'opale.

Voici un tableau sur lequel nous avons tracé un dessin à l'aide du même liquide exposé aux rayons blancs, ce dessin est invisible, mais éclairé par la lumière violette, il apparaît en bleu éclatant.

Je termine, messieurs, par ces expériences brillantes et démonstratives, la confirmation de la théorie unique par laquelle les physiciens expliquent aujourd'hui la radiation solaire.

Ce sujet grandiose, que je n'ai pu qu'effleurer devant vous, a exercé la sagacité des plus grands génies de la

Digitized by Google

science. Les noms les plus illustres figurent à divers titres dans l'histoire des sérieuses études, des longues discussions qui ont permis d'établir sur des bases certaines la doctrine universellement admise aujourd'hui dans cette branche importante de la physique. C'est, en effet, au milieu d'ardentes controverses que la science grandit et se consolide, mais si ces combats passionnent comme beaucoup d'autres, ils ont du moins cet avantage qu'ils ne laissent après eux ni vainqueurs ni vaincus; la lutte terminée, il n'y a qu'une conquête de plus pour la science, un triomphe de plus pour la vérité.

LISSAJOUS.

MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE.

PHYSIOLOGIE COMPARÉE.

COURS DE M. VULPIAN (1).

Les animaux réviviscents (2).

L'étude des phénomènes de la soif m'a amené à vous parler d'une des conditions nécessaires aux manifestations de la vie; c'est-à-dire de la présence de l'eau dans les tissus. Le raisonnement démontre déjà la nécessité de cette condition fondamentale; mais cette nécessité est rendue encore plus saisissante par l'expérience. Lorsque en effet les animaux et les végétaux sont desséchés, ils perdent tout mouvement vital; ils meurent. A côté de cette épreuve, nous pouvons placer une contre-épreuve. Il y a des plantes et des animaux qui, après avoir perdu la vie sous l'influence de la dessiccation, redeviennent vivants dès qu'il y a de nouveau humectation.

Ces expériences ont été faites sur des végétaux inférieurs : des Mousses, des Lichens, des Tremelles, des Bacillariées et des Diatomacées ; enfin, sur le Volvox, ce corps singulier qui, pendant longtemps, a passé pour un animal, et que l'on range maintenant parmi les végétaux.

On observe aussi ces phénomènes de mort et de réviviscence chez des animaux qui occupent les rangs inférieurs de la série animale : les Rotifères, les Tardigrades, les Anguillules. C'est Leeuwenhoek qui, en 1701, a vu le premier des Rotifères desséchés revenir à la vie après humectation. — Il avait déjà même constaté qu'ils pouvaient être ainsi ranimés par imbition, cinq mois après avoir été desséchés. Plus tard, en 1743, Needham signala ce phénomène chez les Anguillules du blé niellé. Puis Baker, à la même époque, observe de nouveau les Rotifères et les Anguillules signalées par Needham. Spallanzani ayant examiné pour la première fois les Anguillules du blé niellé, en 1771, nie leur animalité et les considère comme des filets allongés mis en mouvement par le fluide qui les pénètre. Fontana, la même année, étudie ces mêmes Anguillules et regarde les grains du blé niellé comme de véritables galles, idée qui devait plus tard être reconnue pour entièrement exacte. Un peu plus tard, en 1775, Roffredi fit connaître assez exactement le mode de transmission des Anguillules du blé niellé au blé sain : il fut conduit par ses observations à croire qu'elles s'introduisaient dans l'intérieur de la jeune tige du blé et étaient entraînées par la séve dans les vaisseaux jusque dans les fleurs. Spallanzani ne fut pas le seul à refuser l'animalité à ces êtres surprenants; voici comment s'était exprimé Buffon à leur sujet : « Ces êtres seront, si l'on veut, des espèces de machines qui se mettent en mouvement dès qu'elles sont plongées dans un fluide. » Tandis que Buffon persistait dans cette opinion, Spallanzani ne tardait pas (1776) à modifier la sienne complétement. De nouvelles observations lui firent reconnaître que les Anguillules étaient bien de véritables animaux et qu'il en était de même des Rotifères de Leeuwenhoek. Il confirme tout ce qu'avaient dit ce célèbre observateur et Needham, et ajouta de nouveaux faits importants à ceux qu'ils avaient publiés. De plus, il découvrit deux autres sortes d'animaux réviviscents : les Tardigrades et les Aiguillules des tuiles. Le travail mémorable de Spallanzani (*Sur quelques animaux surprenants qu'on peut tuer et ressusciter à son gré*) aurait dû dissiper tous les doutes, et cependant nous voyons, dans ce siècle-ci, mêmes des naturalistes éminents, Bory de Saint-Vincent, Ehremberg, Dugès, Diesing, refuser d'admettre le phénomène de la réviviscence. Les deux premiers soutiennent, ne pouvant nier l'animalité, que ce sont de nouveaux animaux nés pendant l'expérience, soit par génération spontanée, soit par l'éclosion des germes préexistants. Il a fallu que Doyère, en 1842, donnât une nouvelle et décisive démonstration du fait contesté dans son beau travail sur les Tardigrades, pour que la réviviscence prît définitivement place au nombre des phénomènes physiologiques les plus certains. Parmi les travaux importants sur la matière, publiés avant les discussions qui se sont élevées dans ces derniers temps au sujet de certains points très-intéressants de l'histoire de la réviviscence, on doit citer le mémoire très-remarquable à plusieurs titres de M. Davaine sur les Anguillules du blé niellé (1856). Aux animaux que j'ai cités, il faut joindre les Gordius (*Seta equina*) observés par Fontana; diverses espèces de Tardigrades et de Rotifères, un grand nombre d'espèces d'Infusoires, les Kolpodes, par exemple; et l'embryon du filaire de Médine, observé par M. le professeur Ch. Robin, ver nématoïde qui se place sous la peau de l'homme.

Voilà un rapide historique de la question, et nous allons examiner de près le phénomène. Nous prendrons comme premier sujet de nos études l'Anguillule de la Nielle. Ce nom de *nielle* a été appliqué à toutes les maladies du blé; mais, à l'exemple de M. Davaine, nous ne désignons sous ce nom ni le blé carié (*Uredo caries*) ni le blé ergoté (*Cordyceps purpurea*); et nous appelerons ainsi une maladie particulière du blé, une véritable galle produite par des Anguillules (*Anguillula Tritici*).

Ces vers nématoïdes avaient été déjà assez bien étudiés par Fontana et par Roffredi ; cependant celui-ci n'avait pas connu les sexes; et de plus, ne croyait pas que ce fût une galle. Les travaux les plus complets sur ce point sont dus à M. Davaine, et datent de 1856. Je vous présente des épis de blé niellé, et voici ce que l'on remarque en les examinant. Sur un épi, tantôt tous les grains sont attaqués, tantôt il en reste quelques-uns d'intacts. La galle se forme aux dépens d'une des parties quelconque de la fleur, ovaire, étamines, paléoles, le reste s'atrophiant. Ordinairement toutes les parties de la fleur participent à la formation du blé niellé. Ce qui montre bien de plus que c'est une galle, c'est qu'elle se peut montrer sur les feuilles ainsi que l'a constaté une fois M. Davaine. Si l'on prend un grain malade et qu'on le coupe, on voit qu'il est

(1) Voy. le n° précédent et dans la 1re et la 2e année un cours *in extenso* (37 leçons de M. Vulpian *sur la physiologie du système nerveux*).

(2) Dans les leçons précédentes, M. Vulpian avait traité des phénomènes de la faim et de la soif.

Digitized by Google

formé d'une écorce épaisse, noirâtre, de tissu particulier. Cette écorce circonscrit une cavité centrale remplie d'une poussière blanche à grains très-fins.

Cette poussière est formée par des milliers de filaments allongés, atténués aux extrémités, plus ou moins contournés sur eux-mêmes et paraissant secs et roides. C'est du moins ainsi qu'ils se présentent lorsqu'on délaye cette poussière dans l'eau ; et presque aussitôt il s'y manifeste un certain mouvement de déploiement ou plutôt de déroulement : ce sont des mouvements hygrométriques qui cessent au bout de quelques secondes, et les filaments redeviennent immobiles. Mais après un temps variable, ces filaments, qui offrent la forme d'Anguillules (ce qui leur a fait leur donner leur nom), recommencent à se mouvoir, et ces mouvements, d'abord obscurs, puis de plus en plus nets, de flexion et d'extension partielle, finissent par être des mouvements généraux très-vifs, évidemment spontanés, et durant très-longtemps. M. Davaine les a vus persister pendant deux mois. Ces petits filaments sont des larves, et lorsqu'on prend des grains niellés après la croissance complète et la maturité des grains sains, on ne trouve que ces larves, au nombre de dix à vingt mille, probablement même en plus grand nombre quelquefois.

Mais comment se fait la propagation de ces animalcules. Lorsqu'on sème un grain niellé, il se gonfle et se crève par suite de l'humidité du sol. Les Anguillules reviennent peu à peu à la vie, se meuvent dans le sol et vont chercher des grains déjà germés. Roffredi croyait, ainsi que je l'ai déjà dit, qu'elles s'introduisaient dans l'intérieur de la tige et montaient par les canaux qui conduisent la séve dans le tissu de la plante ; mais M. Davaine a vu les Anguillules grimper à l'extérieur de la tige entre elle et les feuilles les plus internes. Elles montent ainsi jusqu'à la fleur au moment où elle va se former. A ce moment, les diverses parties qui doivent constituer la fleur sont encore très-molles; aussi les Anguillules peuvent-elles s'insinuer entre les petites écailles qui les forment.

A ce moment cesse la vie de la larve : les Anguillules passent à l'état adulte. Les unes deviennent des mâles et les autres des femelles. Les fonctions de reproduction s'exécutent alors : les femelles pondent leurs œufs d'où sortent bientôt les larves nouvelles ; et l'on en compte de dix mille à vingt mille dans une seule excroissance morbide. Au moment où la tige a atteint sa hauteur, les parents meurent, et l'on n'en retrouve plus que des débris méconnaissables. Puis les larves se dessèchent peu à peu et attendent là pour leur développement les conditions favorables qui se font attendre deux ou trois mois.

Il faut donc que ces larves aient en elles une force nécessaire pour résister à cette sécheresse, qui serait mortelle pour tout autre animal; on ne peut arriver à les détruire qu'en trempant l'épi malade dans de l'eau additionnée d'une quantité très-faible d'acide sulfurique. Cette eau acidulée anéantit la réviviscibilité des Aiguillules et n'altère pas le germe.

M. Davaine a constaté que les Anguillules adultes ne peuvent point supporter l'épreuve de la dessiccation, épreuve que les larves supportent si bien. Une Anguillule adulte desséchée n'est plus susceptible de revenir à la vie. Cette différence dans la résistance qu'opposent à ces causes de destruction vitale les larves et les adultes des Anguillules se retrouvent dans d'autres groupes du règne animal et jusque dans des types assez élevés relativement. Ainsi les larves de grenouilles peuvent résister à des causes d'altération que ces animaux ne supporteraient pas à l'âge adulte.

On trouve aussi dans la poussière des toits des Anguillules qui possèdent à un haut degré le pouvoir de réviviscence. Ces phénomènes de résurrection se manifestent plus rapidement que dans les autres espèces d'animaux réviviscents. Comme je vous le ferai voir au microscope, il se produit d'abord des mouvements hygrométriques; puis, après quelques instants de repos, apparaissent des mouvements vitaux qui se montrent d'abord dans une extrémité puis dans l'autre; enfin un mouvement de flexion de tout l'animal.

On trouve dans la mousse des toits de chaume et de vieux murs, comme aussi dans le sable des gouttières et des toits, des Rotifères qui, lorsqu'ils sont desséchés, présentent sous la forme de petits corps arrondis, légèrement fusiformes, avec des plis allant d'un pôle à l'autre. Ces rides transversales leur donnent assez l'apparence d'un melon. On aperçoit très-bien dans la partie centrale les pièces maxillaires et l'animal est d'une teinte rosée. On place de l'eau entre les plaques de verre; et, pendant un quart d'heure, une demi-heure, trois quarts d'heure parfois, on n'aperçoit aucun changement remarquable; puis, après qu'on a vu se produire quelques mouvements intérieurs, la tête sort de sa gaîne, et il en est de même de l'extrémité postérieure; les plis longitudinaux s'effacent et sont remplacés par des plis transversaux. L'animal dégage ses palettes, ses cils vibratiles se mettent en mouvement et simulent les roues, puis l'animal se meut, soit à l'aide d'une ventouse comme celle des sangsues, qui est à son extrémité postérieure, ou la translation est déterminée par le mouvement des cils vibratiles dont nous venons de parler.

Peut-être les Anguillules et les Rotifères, dont je vous entretiens ici, ne forment-ils pas des espèces différentes de celles que l'on rencontre dans les eaux des étangs, et peut-être la différence existant entre les premières espèces qui sont réviviscibles et les dernières qui ne le sont pas, tient-elle seulement à la différence de l'habitat normal des unes et des autres. On trouve déjà une différence entre les deux versants d'un même toit. On trouve moins d'animalcules sur le versant exposé au sud, mais ils sont plus résistants.

Pour vous citer d'autres exemples, je vous parlerai des Tardigrades qui, à l'état sec, sont bien moins dissemblables de leur forme naturelle. On dirait simplement que l'on a sous les yeux des cadavres desséchés avec rétraction des membres. Pendant longtemps on avait placé ces animaux avec les Rotateurs, mais ils se rapprochent bien plus des Arachnides, ils ont en effet quatre paires de membres et une sorte de rostre; mais ils n'ont pas de prolongement abdominal. Le retour des Tardigrades à la vie est assez lent, mais ensuite leurs mouvements sont assez rapides, malgré leur nom. J'en ai vu un qui changeait de peau en revenant à la vie.

Tels sont les phénomènes que nous révèle l'observation la plus simple. Mais, leur description n'en serait pas complète, si je n'ajoutais pas qu'on peut de nouveau les laisser sécher; puis, après un temps indéterminé, les rappeler de nouveau à la vie, et cela peut s'exécuter avec des intervalles de temps variables. Du reste, c'est ce qui se passe dans la nature. Tous les toits, toutes les mousses, sont peuplés d'innombrables animalcules de ce genre; qui passent ainsi tour à tour de vie à trépas et de trépas à vie. Leur vie est intermittente et peut ainsi durer très-longtemps relativement à sa durée normale.

Quelle est donc la durée de cette vie intermittente? Pour les Rotifères on ne le sait pas. Dans l'eau ils ne vivent guère que quelques semaines; mais en les desséchant on a pu les con-

Digitized by Google

server dix ans. Il en est de même des Tardigrades. Mais si pour ces animaux on ne sait la durée même probable de la vie, on est fixé pour les Anguillules de la nielle, leur vie est de dix mois environ, ainsi que le dit M. Davaine, et cependant on a pu en révivifier après deux ou trois ans et même quatre ans. Baker dit avoir vu la réviviscence d'Anguillules de la nielle desséchées depuis vingt-huit ans. Ne croirait-on pas assister à la réalisation des contes charmants qui ont bercé notre enfance, en voyant ce sommeil prolongé après lequel l'animal reprend sa vie juste au point où il l'a quittée.

Une dernière question nous reste à traiter : combien de fois peut-on ainsi ressusciter ces animaux? La réviviscibilité a des limites, M. Davaine dit que l'on peut produire ce phénomène dix fois sur les Anguillules, Spallanzani l'a reproduit seize fois, mais chaque fois avec moins d'intensité. Ces animaux ont donc une certaine somme d'existence à dépenser. Si les Anguillules ont vécu dans l'eau un ou deux mois, très-peu restent réviviscibles.

Je me suis étendu à dessein sur ces questions parce que cette étude en fait surgir d'autres qui sont d'une grande importance. Et d'abord ces animaux sont-ils morts? ou bien, alors que toute manifestation de la vie a disparu, ces animaux ne sont-ils pas morts? La solution de ce problème est très-importante, car dans un cas il y a résurrection dans la plénitude du mot; si l'on se range à l'autre hypothèse, le fait, tout en étant du plus vif intérêt, n'a pas d'importance fondamentale. La question que nous devons nous poser est la suivante : La vie peut-elle cesser complétement, absolument, lorsque certaines conditions physiques n'existent pas, et peut-elle reparaître lorsque ces conditions reparaissent elles-mêmes?

Dès que ces premières observations furent faites, on peut dire que les savants furent divisés, les uns avec Leeuwenhoek voulant que la vie se continue avec une simple diminution d'activité pendant les intervalles de temps où cessent les manifestations visibles de la vie. Les autres, avec Spallanzani, affirment nettement qu'il y a, par la dessiccation, mort complète, puis résurrection complète aussi lorsque ces animalcules sont humectés de nouveau. Et ce débat est difficile à terminer d'une façon définitive. Qui jamais pourra dire à quel point peuvent être réduits les phénomènes de la vie. On peut considérer ce qui arrive chez les animaux hibernants, les animaux congelés, chez les insectes endormis par le sphœx.

Je vous présente un animal très-curieux, le Lepidosiren; on ne sait encore si c'est un Poisson ou un Batracien. Lorsque le moment de la sécheresse arrive, il s'enfonce dans le limon, puis pour mieux assurer sa retraite, il sécrète une matière visqueuse dont il s'entoure comme d'un véritable cocon. Pendant tout le temps où il reste là cet animal ne mange pas, sa vie est réduite pour ainsi dire au minimum, et cependant on peut affirmer qu'il n'est pas mort.

Il a semblé que l'on trouverait des arguments irrésistibles dans les expérimentations suivantes : 1° Si l'on prouvait que les animaux réviviscents une fois desséchés naturellement peuvent être desséchés plus complétement encore artificiellement sans perdre leur réviviscibilité; 2° si l'on pouvait exposer les animaux une fois desséchés à une température telle que tout reste de vie ne pût y résister, et cependant ne pas détruire la réviviscibilité. Des expériences avaient été faites dans ce sens par Spallanzani, mais c'est surtout aux travaux de M. Doyère (1841 et 1842), que l'on doit de connaître des résultats qui paraissent péremptoires.

Spallanzani, après avoir soumis les Rotifères à une très-haute température, les avait mis, une fois secs, dans le vide sans détruire leur réviviscibilité. Mais M. Doyère est allé plus loin, il a tenu des Tardigrades dans le vide pendant plusieurs jours; puis, après une dessiccation dans le vide, il les a exposés à une température de 100 à 110 degrés; et même une fois 125 degrés pendant deux minutes : après ces épreuves quelques Tardigrades revinrent encore à la vie.

La question semblait tranchée, lorsque M. Pouchet vint remettre en doute la signification attribuée à ces faits. Pour lui, les Rotifères les plus secs en apparence ne sont pas desséchés; car, s'ils l'étaient en réalité, ils mourraient définitivement, qu'ils aient été ou non exposés à une haute température. Pour M. Pouchet, ce sont des animaux *pseudo-ressuscitants;* suivant lui le temps pendant lequel on laisse les animaux exposés à la température de 100 degrés aurait été insuffisant. Déjà, lorsqu'ils ont été soumis à une température de 70 degrés, chaque fois qu'on les retire de l'étuve on constate qu'une grande partie des animalcules sont morts. Si l'on prolonge l'expérience le nombre des morts augmente, et si, enfin, on laisse les Rotifères exposés pendant une demi-heure à la température de 100 degrés, pas un seul ne revient à la vie.

Ce débat fut porté devant la Société de biologie, et M. Broca fit sur ce sujet un remarquable rapport. La plupart des résultats obtenus avaient été conformes à ceux qu'avait publiés M. Doyère : de plus, dans une expérience faite suivant les indications de M. Pouchet, des animalcules réviviscents avaient été soumis d'abord au vide sec pendant quatre-vingt-deux jours, puis exposés à une température de 100 degrés pendant une demi-heure, et un certain nombre d'entre eux avaient pu revenir encore à la vie sous l'influence d'une humectation progressivement ménagée. Aussi la commission dont M. Broca était l'interprète se rangeait-elle à l'opinion de M. Doyère, et disait-elle que les animalcules, après avoir subi une dessiccation aussi complète que le permet l'état actuel de nos connaissances physico-chimiques, peuvent être soumis à une température de 100 degrés pendant une demi-heure, sans perdre leur réviviscibilité.

Cette solution ne tranche pas la question, elle reste à peu près intacte, et l'on peut encore se poser les questions suivantes : Un Rotifère, desséché autant que le permet l'état de nos connaissances physico-chimiques, est-il réellement sec? Ne contient-il pas encore quelques traces de liquide? et dans cet état de dessiccation une température de 100 degrés doit-elle nécessairement anéantir le reste de vie qu'il pourrait conserver?

Comment répondre à ces questions? Il est bien évident que la température de 100 degrés tuerait l'animal s'il était dans son état ordinaire. Des expériences très-exactes de M. Gavarret montrent que c'est à 50 degrés qu'est la limite de la vie dans ces conditions, et qu'à 51 degrés l'animal meurt. Mais, chose remarquable, si l'animal est desséché, et s'il est simplement mis alors dans la vapeur humide, il peut supporter une température de 80 degrés : au delà la réviviscibilité est anéantie.

Lorsqu'on veut expliquer comment la température de 100 degrés, qui altère d'une façon irrémédiable toute substance organisée peut être sans action sur les animalcules réviviscents desséchés, il faut invoquer certains faits bien remarquables. Vous connaissez les expériences de M. Chevreul sur l'albumine. De l'albumine lentement desséchée peut se dissoudre dans l'eau, et elle ne perd pas sa solubilité lorsque après dessiccation ainsi pratiquée, elle est exposée pendant

Digitized by Google

une demi-heure à une température de 100 degrés. On peut comparer ces animalcules à cette albumine. Bien que desséchés les tissus restent intacts. Duhamel a montré des faits analogues sur les germes du blé. On peut, après dessiccation, soumettre le blé à une température de 100 degrés sans détruire le germe. Vous connaissez aussi les faits relatifs à ces épis trouvés dans les sépultures de momies, épis dont les grains avaient encore conservé leur propriété germinative.

J'ai fait sur des animaux bien supérieurs en organisation, sur des Grenouilles, des expériences qui ont trait au même sujet. En liant l'aorte à la sortie du cœur, j'interromps la circulation dans les membres. Après cinq ou six heures, si le temps est chaud, les doigts sont entièrement desséchés, surtout au niveau des dernières phalanges qui deviennent transparentes et fragiles. Or, lorsque j'enlève la ligature, et que je permets au sang de revenir dans les vaisseaux des membres, les doigts reprennent peu à peu leur aspect normal, et la vie s'y rétablit comme dans toutes les parties du corps.

Bien des fois déjà, j'ai invoqué les expériences de M. Bert sur la greffe animale. Il prend la queue d'un rat, la dépouille de sa peau, la soumet à la dessiccation complète dans le vide sec pendant vingt-quatre heures, puis la met dans une étuve à 70 degrés où il la laisse dix heures. Si après ces diverses opérations on place cette queue sous la peau d'un autre rat, elle se greffe : il faut donc qu'il y reste encore quelque vitalité.

Voilà des faits que peuvent invoquer les partisans de M. Pouchet. D'ailleurs, et je l'ai déjà dit, quelle assurance a-t-on que ces animaux soient parfaitement secs? Ils sont recouverts d'une peau chitineuse qui rend bien difficile l'exhalation aqueuse. La question est pleine d'obscurité, malgré les efforts des chercheurs. On a essayé sur ces animaux les poisons. M. Davaine n'a obtenu aucun résultat par les narcotiques : la nicotine, la belladone, l'opium; le curare a été également sans effet. Il a observé une mort définitive et immédiate par l'arséniate de soude ; mais cet argument est sans valeur, car l'arséniate de soude agit chimiquement sur les tissus, selon toutes probabilités. Il faudrait sans doute examiner aussi avec plus de soin qu'on ne l'a fait jusqu'ici, s'il y a des manifestations vitales quelconques pendant la période de dessiccation des Rotifères et autres animalcules réviviscents. Lorsque ces animalcules perdent leur réviviscibilité, conservent-ils leur coloration et leur apparence ordinaire, ou se présentent-ils à l'observateur avec des caractères spéciaux? M. Weiss avait vu des Philodines perdre alors leur coloration rose normale. Je citerai aussi, mais sans y attacher dès à présent une grande importance, les faits suivants : on voit des Tardigrades, en même temps qu'ils reviennent à la vie, changer de peau, comme si la mue s'était préparée durant la période de dessiccation. D'autre part, j'ai vu, au même moment, un jeune Rotifère se dégager de l'intérieur du corps de sa mère, celle-ci ayant évidemment perdu sa réviviscibilité lorsqu'elle était revenue sur elle-même en état de dessiccation.

Vous le voyez, il nous reste toujours une incertitude que ne peut dissiper l'état actuel de la science. La question reste pendante, du moins dans ses termes absolus :

Les animaux réviviscibles sont-ils oui ou non morts, lorsque les manifestations ordinaires de la vie ne sont plus appréciables ?

Mais en tout cas, on ne peut douter qu'il n'y ait un degré considérable de dessiccation; et que sous cette influence les phénomènes de la vie ne se réduisent au point d'être presque nuls. A ce moment il ne se fait peut-être plus qu'un échange d'oxygène et d'acide carbonique extrêmement faible, presque inappréciable, il n'y a peut-être pour ainsi dire pas de perte, d'où il suit qu'il n'y aurait pas nécessité de réparation. En tous cas, toutes les fonctions de la vie animale sont suspendues, abolies même, et dès que l'eau est rendue, il y a un retour à la vie dans toute sa plénitude.

C'est le point que je voulais vous démontrer pour vous prouver la nécessité de l'eau dans l'économie. Les recherches qui se rattachent à cette réviviscibilité sont dignes d'attirer l'attention des travailleurs : c'est une des plus hautes questions de la physiologie générale. — E. Bremond.

ENSEIGNEMENT LIBRE.

PHYSIOLOGIE MÉDICALE

COURS DE M. MAREY (1).

Du mouvement dans les fonctions de la vie.

VI

DE LA CONTRACTION DANS LES MUSCLES DE LA VIE ANIMALE.

Vous connaissez les conditions dans lesquelles se produit la secousse musculaire ; vous savez aussi sous quelles influences cette secousse se modifie dans son intensité, sa forme et sa durée. Nous allons chercher aujourd'hui comment des secousses successives se fusionnent entre elles au point de disparaître et de faire place à cet état du muscle auquel on a donné le nom de contraction. C'est ainsi que des chocs successifs, lorsqu'ils se suivent à courts intervalles, nous donnent une sensation nouvelle : celle d'un son continu.

La méthode graphique va nous fournir le moyen de saisir la manière dont se produit la contraction musculaire.

Fusion partielle de secousses musculaires successives. — Observons ce qui se passe lorsqu'on enregistre des secousses séparées d'abord par un certain intervalle, et ensuite de plus en plus rapprochées.

Si chacune des secousses successives a le temps de s'effectuer en entier, on peut être sûr que les graphiques seront formés de secousses égales entre elles et dont les maxima et les minima seront sur des droites parallèles.

Mais si une première secousse n'a pas eu le temps de s'effectuer au moment où il s'en produit une seconde, la période de descente de la première courbe est interrompue par une ascension nouvelle, et cette dernière secousse, s'ajoutant en partie à la première, aura son maximum sur une ligne plus élevée. S'il n'y a que deux secousses, le sommet de la seconde sera d'autant plus élevé que le début de cette seconde secousse se fait plus près du sommet de la première.

Si nous nous servons pour exciter le muscle d'une machine d'induction munie d'un interrupteur automatique, nous pourrons provoquer des excitations à intervalles réguliers plus ou moins courts. Voici ce qui se produit alors (fig. 228) :

Au début de l'excitation électrique, les secousses s'ajousent; comme on le voit dans la figure 228. Chaque secousse nouvelle s'élève d'autant moins haut que le niveau général du

(1) Voyez les numéros 10, 12, 20, 21 et 25.

Digitized by Google

tracé est plus élevé, tandis que la période de descente des secousses va toujours en augmentant, jusqu'à ce qu'enfin ces deux périodes deviennent égales et qu'il s'établisse un régime régulier dans lequel les vibrations s'effectuent entre des maxima et des minima constants.

Fig. 228.

Si les secousses sont plus fréquentes, le même phénomène se produit; seulement les secousses s'ajoutant entre elles d'une manière plus complète, le tracé, dans son ensemble, s'élèvera d'une manière plus brusque, et l'uniformité des secousses s'obtiendra à un niveau plus élevé. Ce fait ressort de l'inspection de la figure 229.

Fig. 229.

Comment doit-on expliquer ces phénomènes ?

Il faut d'abord considérer les forces qui président à la formation de chacune des secousses musculaires. Ceci nous conduit naturellemen t à admettre l'existence de deux forces antagonistes : l'une, la *contraction*, qui raccourcit le muscle, et l'autre, l'*élasticité*, antagoniste de la première, qui tend à ramener le muscle à sa longueur normale. La contractilité agit pendant la période de raccourcissement en luttant contre l'élasticité qui subsiste seule pour ramener le muscle à ses dimensions normales. Telle est la conception la plus simple et la plus rationnelle, par conséquent, pour expliquer la production alternative de ces deux phénomènes opposés : raccourcissement du muscle et retour de celui-ci à ses dimensions primitives.

Admettons maintenant que la force contractile agisse à chacune des excitations électriques avec une même intensité. Il est bien certain que, d'autre part, la force élastique antagoniste augmentera à mesure que le muscle se raccourcira davantage ; c'est-à-dire qu'un même effort raccourcira d'autant moins le muscle que celui-ci sera plus contracté. Ainsi s'expliquerait déjà la décroissance progressive des périodes ascendantes des secousses.

Mais l'augmentation graduelle de la force élastique du muscle explique également bien l'augmentation de la période de descente des secousses successives, l'intensité de l'effet devant croître avec l'énergie de la cause. Ces deux mouvements inverses, dont l'un décroît à mesure que l'autre s'accroît, doivent nécessairement arriver à être égaux entre eux. Et, dès que cette égalité est atteinte, il n'y a pas de raison pour qu'elle disparaisse, si les excitations électriques gardent leur fréquence et leur intensité. En effet, l'élasticité détruit à chaque instant l'effet produit par la force contractile.

Il existe, en physique et en physiologie, un grand nombre d'exemples d'établissement d'un régime régulier d'oscillations sous l'influence de forces primitivement inégales, mais qui, variant en sens inverse l'une de l'autre, finissent par se compenser exactement. Je ne veux citer qu'un exemple, je l'emprunterai à la physiologie de la circulation du sang.

Lorsqu'on applique le sphygmographe sur une artère et que l'on arrête les battements du cœur, en galvanisant le pneumogastrique de l'animal (certains sujets présentent naturellement des intermittences des systoles cardiaques qui reproduisent ces conditions), on voit après un arrêt passager du cœur que les battements artériels se reproduisent dans des conditions particulières. Les graphiques des pulsations s'ajoutent partiellement les uns aux autres, ce qui produit une ascension de la ligne d'ensemble du tracé. Bientôt cette ascension s'arrête et l'on voit s'établir un régime régulier dans les pulsations artérielles ; alors la tension dans ces vaisseaux oscille autour d'une moyenne constante ; l'afflux du sang poussé par le cœur et l'écoulement de ce sang à travers les capillaires se compensent exactement. A ce moment, l'élasticité des artères produit après chaque battement du cœur un resserrement du système artériel égal à la dilatation que lui fait subir chaque systole cardiaque. Ce mécanisme est identique avec celui par lequel s'établit pour les muscles l'uniformité des secousses. J'ai pu répéter les mêmes phénomènes au moyen d'appareils schématiques imitant les principales conditions de la circulation sanguine (1) ; cette méthode synthétique permet de se rendre un compte exact des effets que l'analyse a fait découvrir. Or, en reproduisant ainsi les pulsations des artères, j'ai pu m'assurer que si l'on augmente la fréquence des impulsions du liquide sans modifier la force de chacune d'elles, on obtient une élévation générale du niveau du tracé plus rapide et plus considérable, et qu'en même temps on voit diminuer l'amplitude de chacune des pulsations artérielles.

Vous voyez, messieurs, que l'analogie que je vous signalais tout à l'heure est complète de tous points. Il devait en être ainsi puisque, dans la circulation sanguine comme dans les actes musculaires que nous venons d'étudier, nous trouvons des efforts musculaires égaux et rhythmés luttant contre une élasticité d'intensité croissante.

Fusion complète de secousses musculaires successives. Formation de la contraction permanente ou tétanos. — En voyant que l'intensité des secousses diminue à mesure que leur fréquence augmente, on peut prévoir que, si leur fréquence est assez considérable, les secousses disparaîtront tout à fait. Du reste, Helmholtz a constaté que des excitations électriques répétées trente-deux fois par seconde donnent naissance au tétanos, c'est-à-dire au raccourcissement permanent du muscle sans vibration appréciable.

Vous allez, messieurs, assister à cette production du tétanos et saisir par quel mécanisme elle se produit. Il s'agit de donner au muscle des excitations électriques de plus en plus fréquentes. Voici le mécanisme que j'ai employé pour obtenir ce résultat.

(1) Voy. *Physiologie médicale de la circulation du sang*, p. 164.

Digitized by Google

Une sorte de machine d'Atwood met en mouvement un interrupteur mécanique; elle lui communiquera donc, en vertu des lois de la chute des corps, un mouvement uniformément accéléré. L'interrupteur est formé d'un cylindre isolant muni de contacts métalliques qui ferment et ouvrent alternativement le circuit de la pile. Une disposition spéciale permet de recueillir à chaque tour du cylindre soit le courant induit de clôture, soit celui de rupture. Je puis donc appliquer au nerf du muscle que j'explore des excitations électriques parfaitement identique entre elles; je puis aussi leur donner une accélération aussi rapide que je veux en graduant les poids de la machine et en réglant ainsi la vitesse de leur chute.

Fig. 230.

Le muscle étant disposé sous le myographe et son nerf mis en rapport avec les pôles du courant induit je fais marcher l'interrupteur et vous voyez se produire le graphique représenté figure 230. Les secousses s'ajoutent à peu près comme dans les expériences précédentes, mais leur succession devenant graduellement plus rapide, leur amplitude décroît aussi plus rapidement. Vous les voyez enfin disparaître complétement au point C. Alors la contraction est produite.

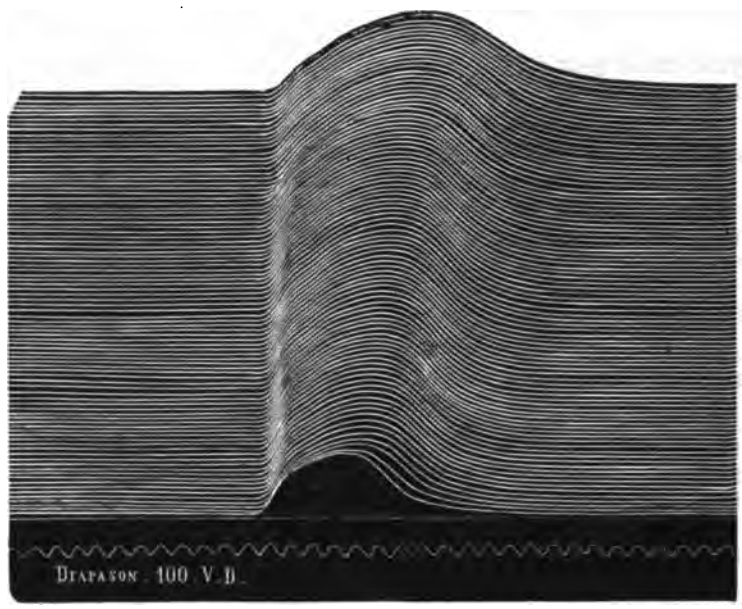


Fig. 231.

Quelle est la fréquence nécessaire pour obtenir la disparition des secousses?

Je ne crois pas qu'on puisse avec Helmhothz évaluer à 32 vibrations le minimum nécessaire pour produire la tétanisation d'un muscle. En effet, dans le graphique représenté figure 230, la contraction a été obtenue à un moment où la fréquence des secousses n'excédait pas 27 vibrations par seconde.

Il est vrai que le levier enregistreur pourrait être accusé de manquer de sensibilité et de ne pouvoir vibrer 32 fois en une seconde. Vous allez voir qu'il n'en est rien.

Je prends un diapason de 200 v. s. par seconde et je le fair vibrer. J'approche ce diapason de la membrane du premier tambour, de celle qui dans une pince myographique reçoit directement l'effet de la secousse musculaire. Au moment où le diapason est en contact avec la membrane, le levier du deuxième tambour enregistre des vibrations sur le cylindre. Je compte maintenant ces vibrations; il y en a exactement 200 par seconde. Vous voyez donc que l'instrument n'a pu nous induire en erreur et qu'il a dû enregistrer exactement les vibrations musculaires tant que celles-ci ont existé.

Vous allez voir maintenant que la contraction permanente peut être obtenue avec un nombre d'excitations bien moindre que celui que nous avons employé tout à l'heure.

Si l'on examine la figure 231 qui représente le graphique des secousses musculaires successives, on voit que sous l'influence d'excitations répétées la secousse prend une durée de plus en plus considérable. Il est bien évident que dans ces dernières conditions, la fusion des secousses tendra à se faire beaucoup plus tôt que sur un muscle frais. Les expériences suivantes vont en donner la preuve.

Je prends le muscle que j'excitais tout à l'heure; je le tétanise de nouveau afin de produire cet état que j'ai appelé la fatigue pour employer le langage ordinaire. Je soumets ce muscle fatigué à l'action de l'interrupteur à mouvement accéléré. Les excitations ont été les mêmes en intensité et en rhythme que dans l'expérience précédente, mais le graphique est bien différent. On y voit la contraction se manifester presque

Digitized by Google

dès le début du tracé, et l'on comprend parfaitement la manière dont ce tétanos s'est produit, lorsqu'on voit la plus grande durée des secousses et leur fusion plus complète au moment où le muscle a subi des excitations encore peu fréquentes. — Il ne paraît donc pas possible d'assigner un minimum à la fréquence des secousses qui tétanisent un muscle, puisque nous voyons ce minimum varier avec l'état du muscle, s'abaisser sous l'influence de la fatigue, s'élever dans des conditions contraires.

Bien que sur le vivant la modification de la secousse par la fatigue soit peu sensible, ce qui tient sans doute à la réparation incessante que produit la nutrition, on peut encore saisir dans ces conditions une modification de la secousse par suite d'excitations répétées.

J'applique une pince myographique sur les muscles de mon pouce et j'excite ces muscles par un courant induit dont l'interrupteur est réglé de manière à donner 15 secousses par seconde. Ces secousses s'enregistrent sur un cylindre tournant en hélice. Vous voyez qu'elles sont très-nettes en commençant, mais peu à peu leur sommet devient moins aigu; elles se fusionnent entre elles d'une manière plus complète. Les voici enfin qui disparaissent à peu près entièrement. La contraction tétanique est obtenue ici par 15 excitations à la seconde.

Lorsqu'on augmente la force du courant induit excitateur, on arrive plus vite à la suppression des secousses. Je ne saurais vous dire à quel chiffre on peut ainsi abaisser le nombre des excitations nécessaires pour produire la contraction; car l'intensité du courant que j'emploie en ce moment m'est déjà très-difficile à supporter.

Enfin, suivant le muscle qu'on choisit pour étudier la production du tétanos on obtient des résultats très-différents; nous verrons, en effet, que la secousse offre des caractères très-différents dans les différents muscles d'un même animal. Il ne sera pas moins curieux de rechercher les caractères de la secousse et les conditions de la contraction sur des muscles empruntés à des animaux de différentes classes.

Des différences d'intensité de la contraction musculaire. — Nous avons vu tout à l'heure la manière dont s'établit la contraction musculaire, mais vous avez pu remarquer à l'inspection de la figure 231 que la contraction ne se maintient pas à un état constant, mais qu'elle s'élève sans cesse à mesure que les excitations électriques prennent de la fréquence sous l'influence de l'interrupteur accéléré. — Les choses ne se passent pas ainsi lorsque l'interrupteur donne des excitations d'une fréquence constante. Il se produit alors un état permanent dans la contraction, état assimilable de tout point au régime régulier qui s'établit dans les secousses quand celles-ci sont encore perceptibles. Bien plus sous l'influence de la fatigue musculaire, le tétanos tend à faiblir sans cesse ainsi que Valentin l'a très-bien déterminé, de sorte que la ligne tracée par le myographe s'abaisse toujours et finit par retomber au niveau de l'abscisse, c'est-à-dire au zéro. A ce moment, le muscle est totalement épuisé. — Pourquoi donc avons-nous un accroissement constant de l'intensité de la contraction sous l'influence d'excitation de plus en plus rapide? C'est apparemment parce que l'intensité de la contraction est, toutes choses égales, en raison de la fréquence des secousses qui la produisent.

De ce que, dans nos graphiques, les secousses musculaires cessent d'être apparentes à un moment donné, il ne s'ensuit pas qu'elles n'existent plus; en effet, Helmholtz a parfaitement constaté que le son musculaire devient de plus en plus aigu pendant le tétanos si les excitations électriques sont de plus en plus fréquentes. Il faut donc conclure que dans le muscle contracté, il se produit des secousses que l'oreille nous révèle, mais qui échappent à nos yeux et même aux appareils plus sensibles que nous employons pour les percevoir. Or, ces secousses invisibles ne doivent-elles pas s'ajouter entre elles absolument comme celles qui nous sont perceptibles? N'est-il pas naturel que la courbe s'élève continuellement pendant la contraction comme pendant l'état transitoire qui l'a précédée?

Du reste on sait depuis longtemps que la même machine d'induction provoque dans un muscle des contractions d'autant plus fortes que l'interrupteur est réglé de manière à vibrer d'un mouvement plus rapide. L'emploi de l'interrupteur accéléré nous montre plus clairement encore cette influence de la fréquence des excitations, puisqu'il nous permet d'assister à toutes les phases de l'accroissement d'intensité du tétanos.

Reste à savoir si cet accroissement dans la fréquence des secousses musculaires est la condition qui fait varier physiologiquement l'intensité de la contraction dans les différents actes de la fonction de motricité. Il est très-possible que l'intensité de l'excitation que le nerf porte au muscle varie suivant l'énergie de la contraction qui se produit, mais il est aussi très-possible qu'il existe des variations dans la fréquence de secousses qui constituent la contraction physiologique.

L'auscultation, dont Helmholtz nous a indiqué la valeur pour apprécier le nombre des vibrations musculaires, peut seule donner la solution de cette question si délicate.

J'ai essayé d'ausculter un muscle pendant que j'exécutais avec celui-ci des contractions d'énergie croissante ou décroissante. J'espérais ainsi entendre suivant le cas un son musculaire d'une tonalité plus ou moins élevée. Mais je n'ai rien obtenu de bien net par ce procédé. Vous savez déjà combien il est difficile d'apprécier la tonalité d'un son aussi grave que celui du muscle qui se contracte, la difficulté s'accroît encore dans cette expérience par suite des frottements du muscle contre le pavillon de l'oreille, ou contre le stéthoscope si l'on se sert de cet intermédiaire. Il fallait donc supprimer tous ces bruits étrangers.

J'ai recouru au moyen que recommande Helmholtz pour apprécier la tonalité du son musculaire dans le tétanos produit par les excitations électriques. On ferme avec de la cire ses conduits auditifs externes et l'on perçoit alors le son des muscles masséters tétanisés. J'ai donc écouté dans ces conditions le son produit par les masséters *volontairement* contractés, j'ai cru remarqué que la tonalité de ce son s'élevait ou s'abaissait suivant que je rapprochais les mâchoires avec plus ou moins de force. J'évalue à une quinte l'intervalle des tons correspondants aux degrés extrêmes d'intensité de la contraction que je produisais ainsi volontairement.

MAREY.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE NUMÉRO 34 21 JUILLET 1866

ASSOCIATION SCIENTIFIQUE DE FRANCE.

SÉANCE TENUE A L'OBSERVATOIRE DE PARIS.

CONFÉRENCE DE M. FOUQUÉ (1).

L'éruption d'une île volcanique. — Relation d'un voyage scientifique dans la baie de Santorin.

Messieurs,

Il y a un an, à pareille époque, j'ai eu l'honneur de vous entretenir d'une éruption considérable de l'Etna. Cette année-ci, j'ai à vous parler d'une éruption non moins remarquable qui a eu lieu dans une autre localité, au milieu de l'archipel grec, près de Santorin.

Cette éruption a été assez curieuse, surtout à cause des phénomènes particuliers qui sont venus la compliquer, pour attirer l'attention de tous les corps savants de l'Europe, et pour qu'une commission scientifique, dont j'ai eu l'honneur de faire partie, fût envoyée sur les lieux par l'Académie des sciences de Paris.

Je vais vous exposer les faits principaux dont j'ai été témoin.

Mais auparavant je vous demande la permission de vous esquisser à grands traits la physionomie des lieux où cette éruption s'est produite.

L'île de Santorin, dont je vais mettre l'image sous vos yeux (le plan de l'île est projeté, à l'aide de la lumière électrique, sur un large écran placé en face du spectateur), a la forme d'un fer à cheval. En face d'elle se trouve une île plus petite, Thérasia, puis une troisième, Aspronisi.

Vous remarquerez que ces trois îles forment une sorte de cirque, dont le centre est occupé par une baie, qui communique avec la mer par trois passes situées entre les trois îles. A une époque assez reculée, les deux passes du midi étaient complétement comblées; l'entrée du nord existait seule.

Les phénomènes éruptifs nouveaux se passent au centre de la baie, auprès de trois petits îlots qui ont reçu le nom de Kameni (καυμένοι, brûlées), à cause de leur origine volcanique, et qui ont été formés tous les trois depuis le commencement de l'époque historique. Le plus ancien se nomme Palœa-Kameni (vieille brûlée), le second en date Micra-Kameni (petite brûlée) et le plus récent Néa-Kameni (nouvelle brûlée).

Le dernier est apparu à la suite d'une éruption très-importante qui eut lieu en 1707, et qui dura cinq ans.

Depuis 1707 jusqu'à nos jours il ne s'y était passé rien d'extraordinaire; cependant quelques indices de la continuation des mouvements volcaniques s'étaient manifestés à plusieurs reprises, et notamment à la pointe sud de Néa-Kameni, dans la petite anse de Vulcano, qui tire précisément son nom de la persistance de ces phénomènes. On y avait souvent constaté des élévations de température. La commission, envoyée il y a une trentaine d'années par le gouvernement français avec l'expédition de Morée, avait particulièrement signalé ce fait. Mais le phénomène le plus saillant était une coloration rougeâtre des eaux de la mer en cet endroit. De plus, l'eau était acide et dégageait une odeur désagréable d'œufs pourris due à la production du gaz acide sulfhydrique.

Ces émanations étaient délétères, elles agissaient sur les plantes et les animaux marins, qui périssaient immédiatement à leur contact; si bien que les navires dont les coques étaient chargées de coquillages et de plantes marines se rendaient exprès dans cette anse de Vulcano pour s'en débarrasser. Au bout de deux ou trois jours de station dans l'anse, tous ces animaux, toutes ces plantes avaient péri, et il suffisait du plus léger frottement pour les détacher de la coque.

Les eaux de l'anse de Vulcano servaient encore à un autre usage. Les habitants de Thérasia et de la grande île en avaient remarqué les propriétés minérales. Ces eaux, qui avaient d'abord toutes les qualités de l'eau de mer, étaient, en outre, chargées de sels de fer. Or, les sels de fer sont connus comme ayant une action énergique sur l'économie, et comme le site était agréable, l'île de Nea-Kameni était devenue, depuis un certain nombre d'années, malgré le danger possible de bouleversements, une station de bains et un lieu de plaisance pour les habitants de Santorin. Les gens riches de l'île avaient bâti des maisons de campagne autour de l'anse de Vulcano; ils y venaient passer l'été et prendre des bains. En hiver, il n'y restait personne qu'un gardien chargé de veiller sur des habitations.

Le 30 janvier dernier, cet homme remarqua, en se levant, que le toit de sa maion était lézardé. Le sol de Santorin renferme une pouzzolane excellente, et comme il ne produit pas de bois, les maisons y sont, de même qu'à Nea-Kameni, entièrement construites en béton. Autant il y a de pièces dans une maison, autant il y a de voûtes. Le gardien remarqua donc que la voûte de sa maison s'était fendue. Il n'y attacha pas d'abord une grande importance. Cependant il eut la cu-

(1) M. Fouqué avait été chargé par l'Académie des sciences de visiter la baie de Santorin, pour étudier les phénomènes volcaniques si intéressants qui s'y produisaient. Il avait été également chargé, l'année dernière, par l'Académie, d'une mission scientifique qui avait pour but l'étude de la grande éruption de l'Etna, qui a si vivement intéressé le monde savant.

Digitized by Google

riosité de visiter les maisons voisines, et fut singulièrement surpris de voir qu'elles étaient toutes fissurées de la même façon. Il se dit alors que, pendant la nuit, il y avait eu probablement un tremblement de terre qui avait passé inaperçu pour lui. Mais dans la journée qui suivit, ces fentes s'élargirent peu à peu, et bientôt les maisons menacèrent ruine. La nuit suivante se passa encore sans rien de spécial; cependant le lendemain, 31 janvier, un certain nombre de maisons étaient déjà démolies, tandis que d'autres commençaient à s'enfonçer et que l'eau pénétrait dans toutes. Il y avait donc un affaissement du sol.

En même temps l'eau de l'anse de Vulcano venait de plus chaude, un dégagement de fumée s'y produisait; enfin, on y entendait des bruits souterrains : c'étaient des sons très-forts, des chocs violents, comme si l'on frappait de bas en haut avec un marteau. Il y avait là quelque chose d'effrayant pour un homme qui n'était pas habitué aux manifestations volcaniques. La nuit du 31 janvier au 1er février se passa sans production de nouveaux phénomènes; mais dans la nuit du 1er au 2 février, le gardien aperçut des flammes qui s'élevaient à plusieurs mètres de hauteur. Alors, il fut tellement effrayé qu'il détacha son canot et gagna Santorin en toute hâte.

L'alarme fut donnée, et immédiatement on se rappela tous les événements qui avaient eu lieu au siècle passé. La crainte s'empara de tous les esprits, et l'épouvante fut telle qu'une partie des habitants s'enfuit aussitôt; d'autres se contentèrent d'envoyer ce qu'ils avaient de plus précieux à Syra. Mais les plus braves voulurent voir de près ce qui se passait à Nea-Kameni; ils s'y rendirent donc, et assistèrent, au bout de deux jours, à la naissance d'une île nouvelle.

Ils étaient assis au bord de la mer, lorsque tout à coup, au milieu de l'anse de Vulcano, ils virent surgir un bloc de rocher qui fut suivi d'un deuxième, puis d'un troisième. Ces blocs montaient à vue d'œil, c'était un édifice qui sortait de la mer; puis l'édifice s'écroula et cessa de gagner en hauteur mais pour gagner en étendue, et l'îlot finit par combler l'anse tout entière. Il était formé d'un amas de lave.

Trois jours après, non sans de grandes discussions, on lui avait donné un nom : c'était celui du roi George, le nouveau souverain de la Grèce. On assure que le roi, peu content de ce choix, aurait dit que son rôle de roi constitutionnel lui interdisait d'être le parrain d'un volcan.

Les phénomènes que je viens de décrire continuèrent à se produire. Les blocs qui avaient surgi tout d'abord étaient des blocs froids; c'était le fond de la mer qui s'élevait. Ils apportaient avec eux des débris de toute espèce. Mais bientôt entre ces blocs se glissèrent des matières en fusion qui se solidifiaient au contact de l'eau, si bien qu'au lieu de blocs froids on eut des blocs de plus en plus chauds. A mesure que l'île grandissait, la température de la partie centrale s'élevait, et au bout de trois jours tout le centre en était incandescent; des flammes sortaient de toutes les interstices des laves.

Depuis lors, l'îlot George (je persisterai à l'appeler de ce nom qui lui a été conservé, et que les savants de la commission grecque qui sont venus avant moi lui ont maintenu) a continué à croître peu à peu, et s'avançant de 50 à 60 mètres vers l'île ancienne, a fini par s'y souder et par former un promontoire. Pendant plusieurs jours, la lave continua ainsi à sortir seulement de ce côté, sans qu'il y eût, d'ailleurs, d'explosion.

Mais à la pointe sud-est de Nea-Kameni on remarqua bientôt également certains phénomènes spéciaux. L'eau de la mer s'était échauffée, et il s'en dégageait des bulles de gaz. Enfin, le 8 février, tout d'un coup, on vit se projeter du sein des flots comme une espèce de trombe, et en même temps des fragments de ponces et de laves; il y eut une explosion sous-marine, puis, jusqu'au 13 février, la température resta élevée, mais rien d'extraordinaire ne se produisit plus.

Le 13 février, apparut une nouvelle île, qui s'accrut avec une rapidité plus grande que la première. Dans l'intervalle, le gouvernement grec, qui avait été prévenu de ce qui se passait, avait envoyé un navire avec cinq des savants les plus distingués de la Grèce. Ce bâtiment s'appelait *Aphroessa*, et ce nom fut donné à la nouvelle île.

Ainsi, voilà deux îles, l'une au nord, l'autre à la pointe sud-est de Néa-Kameni. Elles continuèrent à croître de la même façon. Les blocs étaient incandescents et les flammes abondantes; mais dans tous ces phénomènes il n'y avait rien de dangereux, et les habitants de Santorin venaient tous par amusement assister au spectacle de l'éruption, tandis que les savants grecs en suivaient les progrès. Dans la soirée du 19, ceux-ci vinrent avec leur navire *Aphroessa* jeter l'ancre dans le petit canal qui sépare Micra-Kameni de Néa-Kameni, à côté d'un bâtiment de commerce qui devait prendre un chargement de pouzzolane. La nuit se passa paisiblement. Le lendemain matin, les savants remarquèrent qu'il y avait quelque chose de nouveau. Il y a de ces phénomènes volcaniques qu'on ne peut décrire d'une façon absolue, mais dans lesquels ceux qui ont l'expérience voient des indices de dangers. Les savants grecs ne furent donc pas sans s'apercevoir que des symptômes particuliers s'étaient manifestés. La température de l'eau de la mer s'était élevée, la coloration en était devenue plus foncée. Malgré cela ils se déterminèrent à continuer leur travail et descendirent à terre comme de coutume. L'un d'eux se mit à faire sur le bord de la mer des observations géodésiques. Les autres montèrent sur l'ancien cône de Néa-Kameni. Ils venaient de terminer leurs observations, lorsque tout à coup il se produisit une détonation effrayante. Une partie du sol de l'île était lancée en l'air. La quantité de matière projetée était si considérable, que pendant un moment on ne vit plus le ciel.

Dans la position qu'occupaient ces messieurs, il n'y avait aucun abri. Ils étaient à la pointe de l'île contre un rocher peu élevé, exposés, par conséquent, à tous les périls. Les pierres commençaient à tomber à terre. Instinctivement ils laissèrent leurs instruments, et prirent la fuite du côté opposé. Le danger n'y était pas moins grand, car les pierres étaient lancées à une grande distance. Heureusement ils purent se blottir contre des rochers: les uns se mirent complétement à l'abri, d'autres cachèrent simplement leur tête et reçurent quelques blessures; enfin, ils arrivèrent à leur navire, qui était, comme je l'ai déjà dit, dans le canal de l'autre côté. Là, ils trouvèrent l'alarme la plus vive. Plusieurs matelots avaient été blessés. Des pierres incandescentes étaient tombées sur le bâtiment, et leur température était tellement élevée que le pont avait été traversé. L'une d'elles était descendue dans la cabine du mécanicien, à un mètre de la poudrière. Le bateau marchand amarré à côté avait été encore plus maltraité. Une pierre incandescente était tombée sur la tête du capitaine et l'avait étendu roide mort. Les matelots enlevèrent son corps et se sauvèrent à terre. Le bateau abandonné fut bientôt perforé et brûlé par les pierres qui continuaient à tomber. Quant au navire *Aphroessa*, il était si

Digitized by Google

solidement attaché par son ancre aux blocs de lave irréguliers formant le fond du canal qu'il fallut couper les chaînes à coups de hache pour l'en détacher.

Vous comprenez, messieurs, qu'après un pareil accident on ne se soit plus avisé de retourner à Néa-Kameni, et que depuis le 2 février jusqu'au jour où je suis arrivé avec M. de Verneuil, personne n'y ait mis le pied.

Un autre fait avait encore contribué à répandre l'alarme.

Le gouvernement grec avait prié les ambassadeurs des grandes puissances d'envoyer des navires de guerre à Santorin pour secourir les habitants en cas de besoin. Or, le mouillage de Santorin n'est pas sûr, la baie est profonde, elle a deux cents brasses; dans toute son étendue on ne peut jeter l'ancre nulle part, excepté en un endroit qu'on appelle le Banc. C'est un ancien cône volcanique. Il ne peut y stationner à la fois que cinq ou six bâtiments.

Les navires de guerre, ne se trouvant pas en sûreté sur ce banc, retournèrent aux îles voisines, et en particulier à l'île de Nio. Or, les habitants de Santorin, voyant que ces navires ne voulaient pas stationner sur le banc, conclurent à l'imminence du danger.

Il n'y a qu'un seul navire de guerre qui s'y soit maintenu pendant quelque temps, c'est un bâtiment autrichien, auquel je dois des éloges pour sa conduite. Ce bâtiment resta sur le banc alors que tous les autres navires, et je n'en excepte pas les bâtiments français, qui méritent le blâme comme les autres, retournaient à Nio.

Aussitôt arrivés à Santorin, M. de Verneuil et moi, nous songeâmes à aller à Néa-Kameni, mais pas un marin de Santorin ne voulut nous y conduire. Il est vrai qu'ils nous offraient des barques, en nous disant : Allez-y comme vous pourrez. Mais comme M. de Verneuil et moi nous étions de très-mauvais rameurs, nous nous trouvions fort empêchés ; c'est alors que le commandant du bâtiment autrichien nous offrit son concours, et grâce à lui nous avons pu visiter le lieu de l'éruption.

Nous sommes donc allés à Néa-Kameni. Nous avons visité d'abord le quai. Des maisons qui s'y trouvaient, les unes étaient entièrement enfoncées, d'autres étaient à moitié plongées dans l'eau et étaient à la fois noyées et brûlées; le quai lui-même, qui s'élevait autrefois à 5 ou 6 mètres au-dessus de la mer, était à fleur d'eau.

Quant à l'île George, elle s'était développée et formait un promontoire qui s'avançait vers le sud dans la mer.

En entreprenant cette excursion, nous avions eu la précaution d'embarquer deux mauvais sujets de Santorin, afin de les décider à nous servir de bateliers lorsque nous serions privés du concours des matelots autrichiens. Aussitôt débarqués, M. de Verneuil et moi, nous avons voulu monter sur George. Nos hommes n'en revenaient pas; ils nous faisaient force signes pour nous engager à revenir en arrière. Nous avons gravi le sommet de l'escarpement, qui pouvait avoir 30 ou 40 mètres; la température était tellement élevée qu'il n'y avait pas moyen d'aller plus avant vers le centre de l'île; enfin, de là nous avons vu la disposition des lieux. Il n'y avait pas de véritable cratère, pas de véritable cirque volcanique. Le sommet de George était fendu, et c'est par ces fentes que se dégageaient les matières volatiles.

Nous sommes descendus ensuite, et nous avons continué à faire le tour de l'île. Près de là, l'eau de la mer était à 80 degrés et très-colorée par des sels de fer. Un peu plus loin des dépôts de soufre se formaient par la décomposition de l'acide sulfhydrique. Enfin, nous sommes arrivés à *Aphroessa*. En plein jour, nous voyions des fumées rougeâtres très-singulières sortir du sol. Malheureusement je n'ai jamais pu en approcher assez pour pouvoir les étudier.

Le canal qui séparait Aphroessa de Néa-Kameni était très-étroit, il avait 20 à 25 mètres de large sur une longueur de 200 mètres. La température de l'eau était de 85 à 90 degrés : il s'en dégageait des vapeurs en quantité considérable, on s'y trouvait comme dans une étuve. Cependant je demandai au second du navire autrichien, qui nous conduisait et qui était d'origine française, de nous conduire par ce canal. M. de Verneuil, qui n'avait pas plus peur que moi, joignit ses instances aux miennes, et nous nous y engageâmes. A chaque instant, nous nous heurtions contre des blocs de lave; néanmoins, nous avons pu le traverser. J'ai même pu y recueillir des bulles de gaz. C'était du gaz combustible ; il suffisait d'en approcher des allumettes pour y mettre le feu, qui se communiquait aux bulles voisines, et quelquefois la flamme se propageait très-loin.

Nous avons fait le tour d'Aphroessa, nous sommes montés sur cet îlot comme sur George; mais nous n'avons pu, bien entendu, en gravir le sommet. Puis, comme j'avais des raisons théoriques pour désirer voir la flamme de près, nous sommes redescendus la nuit sur George et sur Aphroessa. Chacun de ces sommets paraissait complétement enflammé, c'était un véritable bûcher. De toutes parts la flamme s'en dégageait. Les savants de l'île de Santorin disaient que ces flammes ne brûlaient pas. Pour bien les convaincre du contraire, nous avons voulu y allumer quelques objets. Nous avons emporté des papiers, des cigares, que nous avons allumés à la surface de la mer.

Quelque temps après, en faisant le tour d'Aphroessa, nous avons aperçu une nouvelle île, et comme nous étions les premiers à la voir, nous en avons été les parrains, nous l'avons donc appelée *Reka*, par reconnaissance pour le navire autrichien qui nous avait été si utile et qui porte ce nom. Cette île s'était élevée peu à peu à la surface de la mer. Les blocs de *Reka* ne se sont jamais aussi échauffés que ceux d'Aphroessa et de George; mais elle s'est mise néanmoins à croître, si bien qu'au bout de trois jours, elle s'était réunie à Aphroessa, et peu après, toutes deux étaient jointes à Néa-Kameni, de telle sorte qu'au bout de quelques jours, il n'y avait plus en définitive qu'une seule île, avec un promontoire formé par George à une de ses extrémités, et un second promontoire formé par Aphroessa et Reka réunies à l'autre extrémité.

J'interrompis ensuite pendant quelque temps mon séjour à Santorin, parce qu'il y devenait inutile, les mêmes phénomènes se reproduisant sans modification, et ne m'offrant par conséquent pas de nouveau sujet d'études.

Je partis pour la Grèce avec M. de Verneuil et M. Lenormant, que l'Empereur avait joint à la mission envoyée par l'Académie des sciences; nous visitâmes le Péloponèse, où j'eus l'occasion d'étudier des sources minérales. Je demeurai ensuite quelque temps dans l'île de Milo, où se passent aussi des phénomènes volcaniques qui méritent l'attention, et qui ont, à certaines époques, donné lieu à des discussions intéressantes entre les géologues.

Je revins en mai à Santorin, et c'est de ce second séjour que je veux vous dire encore quelques mots.

Des changements notables avaient eu lieu en mon absence, George s'était énormément accru, la lave s'y était accumulée

Digitized by Google

en quantité considérable. De plus, le point culminant n'était plus à la même place, il s'était déplacé vers le midi. Quant à Aphroessa, elle s'était allongée vers le nord, et une masse de lave énorme s'y trouvait amoncelée.

Mais ce n'était pas là le phénomène principal.

Sur l'ancien sol de Néa-Kaméni, il y avait déjà quelque chose que j'avais remarqué avant de partir. Là il n'y avait pas eu de laves, mais le sol avait été fendu. Il s'y était produit quatre fissures d'une façon tellement brusque qu'on les aurait dites faites avec un instrument tranchant. Elles avaient 20 mètres de hauteur sur 1 mètre environ de largeur, et étaient taillées à pic dans une lave d'une dureté extrême. Au fond de ces cassures du sol, de ces ravins creusés dans la lave, circulaient des courants d'eau chaude, qui se dirigeaient dans la direction d'Aphroessa avec une grande rapidité. Cette eau avait 80 degrés, il s'en dégageait des bulles de gaz, et quand on en approchait une allumette la flamme se propageait d'une extrémité à l'autre de ces courants.

De plus, un peu au nord, se produisaient des fumerolles sulfureuses, dont la température était très-élevée.

Quand j'étais arrivé pour la première fois, le 8 mars, cette température était d'environ 100 degrés. Quelques jours après, elle montait à 200, un peu plus tard, à 300. Enfin, au moment de mon départ, elle était d'environ 600 degrés. On pouvait y fondre du zinc; alors je pensai que s'il devait se passer quelque chose de nouveau en mon absence, ce serait en cet endroit, d'autant plus qu'on entendait des bruits caractéristiques qui indiquaient le danger.

A mon retour, je trouvai que les fentes s'étaient considérablement élargies. Elles avaient atteint 8 ou 10 mètres de largeur, les bords s'étaient élevés et avaient monté de manière que les canaux qu'elles formaient avaient, 30 ou 40 mètres de profondeur au lieu de 15 à 20 mètres.

De plus, dans le point où se trouvait la plus chaude des fumerolles sulfureuses, s'était produit un phénomène non moins remarquable.

Tout à coup, à la fin du mois d'avril, le sol avait été projeté sans qu'il en restât pour ainsi dire de traces; l'explosion avait été aussi brusque et aussi forte que celle d'une poudrière. Il y avait là un trou qui pouvait avoir 30 ou 40 mètres de profondeur, un véritable cratère dont les parois étaient couvertes de sels de fer.

Il s'était formé là un cratère d'éruption; mais il n'en était pas sorti de lave. Enfin l'ancien cône de Néa-Kameni, formé en 1707, avait subi aussi certaines transformations. Déjà au commencement du mois précédent, il présentait deux fentes. Ces deux fentes s'étaient considérablement élargies. Je suis monté sur ce cône de Néa-Kameni bien des fois, et une fois entre autres, pendant mon premier séjour; j'avais décidé à m'accompagner un des savants de la commission grecque qui avait été blessé lors de l'éruption dont je vous ai parlé, et qui depuis n'avait jamais voulu y retourner.

Il nous a conduit à l'endroit où la commission se trouvait au moment de l'explosion. Nous y avons trouvé une partie des instruments de ces messieurs, un livre, des thermomètres, du tabac, un chibouck, un marteau. Le marteau avait quelque chose de particulier. Un bloc de lave était tombé près de lui, en avait brûlé le manche et l'avait coupé en deux morceaux, si bien que les parties subsistantes n'avaient pas changé de position, la partie moyenne seule avait disparu.

Quelquefois il y avait des dégagements d'acide sulfhydrique qui donnaient des nausées, qui occasionnaient des pesanteurs. Les habitants de Santorin en étaient gênés et effrayés. J'ai fait ce que j'ai pu pour les ramener et j'y suis parvenu au moins en partie. Ils avaient d'ailleurs toutes sortes de motifs d'inquiétude, non-seulement ils se croyaient menacés par ce dangereux voisinage, mais les navires de commerce ne venaient plus les visiter, et c'était chose capitale pour cette population, attendu que l'île de Santorin est une île très-fertile, mais qui ne produit absolument que du vin; et comme il n'y avait pas de provision faites d'avance, il y eut une semaine où le pain se vendit à un prix exorbitant. Heureusement qu'à la fin de cette semaine les navires finirent par revenir.

Maintenant depuis mon retour, rien de particulier ne s'est passé, l'éruption a continué comme avant; aujourd'hui elle dure encore, elle est aussi intense que le jour de mon départ et probablement elle durera longtemps encore, peut-être des années. L'éruption de 1707 a duré cinq ans. Deux nouvelles îles se sont formées, elles sont situées au delà de Reka et probablement elles s'y réuniront.

Voilà les principaux phénomènes que j'avais à vous décrire, maintenant je vais pour ainsi dire vous les montrer. L'année dernière, j'avais, pour m'aider dans ma description de l'Etna, des photographies faites par M. Berthier qui avait fait le voyage de Sicile avec moi. Cette année il n'a pu m'accompagner, mais il m'a fourni des glaces préparées dans son atelier et avec quelques instructions qu'il m'a données, en outre, j'ai pu faire plusieurs épreuves qui sont loin de valoir les siennes, mais qui pourront vous donner une idée des phénomènes.

(Ici M. Fouqué fait passer successivement sous les yeux de ses auditeurs une série d'images photographiques, dont la succession reproduit le panorama des lieux où se produisirent les phénomènes qu'il décrits.)

J'espère, dit-il ensuite, à l'aide de ces photographies, vous avoir montré à peu près la disposition des choses. J'ai à vous entretenir maintenant d'un autre sujet.

Je vais vous indiquer en peu de mots le but de notre expédition, et comme je ne suis pas allé là en simple curieux, vous mettre au courant des questions principales dont j'ai eu à m'occuper.

Dans un volcan il se produit une foule de phénomènes très-compliqués. On n'a qu'à lire les descriptions des anciens auteurs pour se rendre compte de la confusion apparente qui règne dans tous ces phénomènes.

Les auteurs du siècle passé eux-mêmes ne voyaient là qu'un chaos. Tout était pour eux irrégulier, désordonné. c'étaient des phénomènes violents où il n'y avait aucune loi, rien de général. Ils n'y voyaient qu'une chose. Il s'y produisait de la lave, du soufre, quelquefois des flammes, mais tout cela pêle-mêle.

Au commencement du XIXe siècle, les géologues et les chimistes ont commencé à s'occuper d'une façon générale des volcans; on a étudié d'abord toutes les matières qu'ils produisaient, et on a vu qu'elles étaient beaucoup plus nombreuses qu'on ne le supposait. On y a trouvé quarante ou cinquante substances différentes entre elles, mais identiques, pour la plupart, avec les composés que l'on trouve le plus ordinairement dans les laboratoires de chimie. Un volcan n'est autre chose qu'un grand laboratoire où s'accomplissent les réactions les plus diverses.

On s'est donc préoccupé de savoir comment toutes ces ma-

Digitized by Google

tières s'engendraient dans un volcan. On a étudié le Vésuve, l'Etna; M. Boussingault a été observer les volcans des Andes et analyser leurs émanations; c'est même par ces volcans éloignés qu'on a commencé. Enfin grâce aux travaux des géologues et des chimistes, on est parvenu à reconnaître quelles étaient les substances qui se produisaient dans ces différents lieux.

On a vu qu'en outre de la lave, les éruptions volcaniques fournissaient une foule de matières volatiles. La nature de ces substances étant déterminée, on s'est demandé naturellement si elles n'apparaisaient pas dans un ordre spécial.

C'est un géologue français, M. Charles Sainte-Claire Deville, qui, le premier, s'est posé nettement cette question, et qui l'a résolue. Il a trouvé en effet que dans tous les volcans terrestres ces quarante ou cinquante substances ne paraissaient pas confusément, mais toujours dans un ordre méthodique, avec prédominance de telle ou telle matière, selon que l'éruption volcanique est à telle ou telle période. Dans tous les volcans terrestres, qu'il a étudiés, il a toujours trouvé en quantité prédominante des sels de soude, et en particulier du chlorure de sodium dans les points où la lave est la plus chaude, et encore rouge. Quand la température vient à s'abaisser, d'autres produits apparaissent, des produits plus volatils, de l'acide chlorhydrique, de l'acide sulfureux, des chlorures de fer. Voilà donc une seconde période. Dans une troisième période, ce qui domine, c'est le soufre, l'acide sulfhydrique, et même déjà l'acide carbonique. Enfin, il y en a une quatrième, dans laquelle il n'y a plus que de la vapeur d'eau, des gaz combustibles et de l'acide carbonique.

Voilà donc quatre périodes bien distinctes.

Or cet ordre dans les produits, n'avait été observé que dans les volcans terrestres. Il y avait par suite à se poser une question très-importante. Dans un volcan marin, le même ordre existait-il? Il fallait donc aller là où se produirait une éruption en mer, prendre les produits un à un, et voir s'ils se trouveraient être les mêmes et dans le même ordre que dans les éruptions terrestres. C'est en grande partie pour obtenir la solution de cette question que je me suis rendu à Santorin.

Eh bien! l'expérience m'a démontré que les choses s'y passaient exactement de la même façon. Il y a cependant une légère différence.

Dans une éruption terrestre, le refroidissement de la lave se fait très-lentement. Quand la lave sort des profondeurs du sol à l'état incandescent, elle possède une grande quantité de chaleur. Si elle coule à l'air libre, elle conserve quelquefois une température élevée pendant des années. On trouve, sur les flancs du Vésuve et de l'Etna, des laves qui ont coulé depuis dix ans, et qui sont encore très-chaudes.

Or, il n'en est pas de même à Santorin. En effet, dans les volcans sous-marins, quand la lave arrive au contact de l'eau, elle se refroidit rapidement. Donc les coulées ne peuvent être d'une grande étendue. Aussi tandis que dans les éruptions des volcans terrestres, il y a des coulées de 16, de 20 kilomètres de longueur, là elles atteignent au plus 1 kilomètre, mais ce qu'elles perdent en longueur, elles le regagnent en épaisseur parce que la lave s'accumule sur elle-même et forme des amas considérables. Ainsi sur l'Etna les coulées les plus épaisses ont 30 ou 40 mètres d'épaisseur. Ici elles atteignent 200 mètres, et même plus puisque elles vont jusqu'au fond de la mer.

Qu'arrive-t-il par suite? C'est que les produits volatils des quatre périodes, au lieu d'être espacés sur une grande étendue se rapprochent. Aussi l'année dernière sur l'Etna, je trouvais, dans les endroits où la lave était incandescente, le chlorure de sodium; à quelques centaines de mètres de distance le chlorure de fer et l'acide chlorhydrique; à quelques kilomètres l'acide sulfhydrique et le soufre, et enfin, à une distance de douze lieues (à Paterno), les gaz combustibles et l'acide carbonique. A Santorin, au lieu d'avoir plusieurs lieues d'espace à considérer, nous avons 1 kilomètre seulement, et nous trouvons tout dans ce kilomètre. Au sommet de Georges nous avons des sels de potasse et de soude, et quoiqu'on ne puisse pas approcher de ce sommet, nous en avons la preuve, car les blocs qu'il projette portent à leur surface un enduit blanchâtre formé par ces sels, qui sont exactement les mêmes dont j'avais constaté la présence à l'Etna.

Un peu plus loin, qu'est-ce que j'ai trouvé? L'acide sulfureux, l'acide chlorhydrique, les produits de la seconde période, enfin à 20 ou 30 mètres, c'est le soufre, dont il était facile de recueillir des échantillons; et enfin, un peu plus loin encore, il y avait des gaz combustibles et de l'acide carbonique. Ainsi les produits étaient les mêmes, ils se trouvaient disposés dans le même ordre. Seulement tout cela se resserrait dans un petit espace.

Voilà donc la loi posée par M. Sainte-Claire Deville vérifiée pour les volcans marins comme pour les volcans terrestres.

Il y avait un autre motif qui m'attirait à Santorin; j'étais, sur un point, en désaccord avec mon savant maître.

Pour expliquer cette succession dans les phénomènes, M. Sainte-Claire Deville disait: Quand l'éruption est dans son maximum d'intensité les produits émis sont les sels de potasse et de soude, puis apparaissent les produits de la seconde période et ainsi de suite.

Je disais au contraire: Au commencement quand le volcan est en pleine activité, les produits de toutes les périodes paraissent simultanément, seulement on remarque davantage ceux que nous appelons de la première période, parce qu'ils ne se trouvent pas dans les périodes suivantes. Dans la seconde période les sels de potasse et de soude manquent, et nous caractérisons cette période par l'acide sulfureux et l'acide chlorhydrique qui manquent dans les suivantes. Nous caractérisons ainsi chaque période par certains produits, non parce qu'ils y existent seuls, mais parce qu'ils manquent dans les périodes suivantes.

M. Charles Sainte-Claire Deville, expliquait donc la succession des phénomènes par une addition et moi par une soustraction: l'éruption de Santorin semble me donner raison.

J'ai trouvé en effet, au sommet de George, non-seulement les produits de la première période, mais ceux de toutes les périodes suivantes, car les gaz combustibles, les carbures d'hydrogène, y sont en quantité telle qu'ils y brûlent en formant des flammes de plusieurs mètres de hauteur; les produits de la dernière période et ceux de la première se trouvent donc ainsi réunis; la même chose s'observe pour les produits intermédiaires. Ainsi voilà donc la démonstration d'une loi établie il y a un certain nombre d'années par M. Deville, et en même temps une explication de cette loi. Il y avait une certaine importance à vérifier le fait sur lequel je viens d'insister, parce que en supposant une apparition successive des produits caractéristiques des quatre grandes périodes volcaniques, il était impossible de donner aucune raison théorique qui pût en rendre compte d'une façon satisfaisante; c'est même

Digitized by Google

sans doute pour cela que la loi si remarquable découverte par mon illustre maître a trouvé jusqu'à ce jour tant de contradicteurs. Au contraire, la disparition graduelle des produits qui se montrent dans une éruption, au fur et à mesure que l'intensité décroît s'explique tout naturellement. Pourquoi au premier moment trouve-t-on du chlorure de sodium volatilisé? Parce que ce sel se volatilise au rouge. Pourquoi ensuite n'en trouve-t-on plus dans les périodes suivantes? Parce que la température n'y est plus suffisante pour l'amener à la surface du sol.

Dans la seconde période on trouve le chlorure de fer et l'acide chlorhydrique, parce que la température est suffisante pour les volatiliser ou permettre les réactions qui leur donnent naissance, ce qui n'a plus lieu dans les deux dernières périodes, et ainsi de suite.

Enfin, en dernier lieu, quand on arrive à la température ordinaire, on ne trouve plus que les gaz qui, seuls, sont volatils à cette température.

Ces recherches ont encore un autre intérêt que j'ai déjà signalé dans nos séances de l'année dernière. C'est que quand on connaît les produits qui sortent des volcans, on peut donner une explication théorique probable des phénomènes volcaniques.

Tout le monde est d'accord pour admettre qu'à une certaine profondeur au-dessous du sol il existe de la matière en fusion. Or, si l'eau de la mer arrive par infiltration jusqu'au contact de cette matière (ce qui est démontré comme possible et même probable par un grand nombre d'observations), cette eau se vaporise, et alors sa vapeur acquérant une énorme tension fait éclater le sol.

Si cette théorie est vraie il doit donc se produire dans tous les volcans une très-grande quantité de vapeur d'eau, et en outre, tous les sels contenus dans l'eau de la mer doivent s'y rencontrer, c'est, en effet, ce que confirme l'observation. Mais on y trouve encore d'autres substances, puisqu'au lieu des douze ou quinze produits que contient l'eau de la mer, on en trouve environ cinquante. Tous ces produits sont des produits de réactions secondaires, et l'introduction de l'eau de la mer dans le sol suffit pour expliquer leur présence. On peut, en effet, les obtenir tous en mettant en contact, à une haute température, de la lave, de la vapeur d'eau et les sels contenus dans l'eau de mer.

J'avais encore à Santorin une vérification à faire. Il y a dans les volcans terrestres un phénomène mécanique des plus remarquables, et dont la vérification pour les volcans marins était à faire.

Ce phénomène est le suivant:

Dans toutes les éruptions on trouve toujours que le sol s'est ouvert suivant une fente longitudinale. Ce phénomène a été remarqué pour la première fois par un savant italien, M. Mario Gemellaro. Quelques années plus tard, M. Élie de Beaumont, ayant observé le même fait, fut frappé de son importance et lui donna la généralité qu'il mérite. Il y avait encore à se demander, si dans les éruptions en mer, si à Santorin, les choses se passaient de cette façon. Or l'éruption actuelle est le plus bel exemple possible de la loi posée par MM. Gemellaro et Élie de Beaumont. Sur les photographies que j'ai fait passer sous vos yeux, vous avez pu voir que George, Aphroessa et Reka sont sur une même ligne. Ce sont les trois points principaux de la fente; les îles qui se forment maintenant se produisent à leur tour, toutes sur la même ligne. C'est la fente du sol qui se continue dans la même direction. Et cette direction, qui est Est 20 degrés nord, est loin d'être indifférente. En effet, je vous ai montré sur la carte que Santorin n'était qu'un amas de laves et de tufs volcaniques. Dans nos jours de repos, M. de Verneuil et moi, nous avons étudié la composition de la falaise de l'île. Le sol de Santorin étant composé de couches de laves superposées, nous avons pensé qu'il y avait eu près de là un centre volcanique quelque part. Il y a eu un moment où la baie de Santorin n'existait pas, et à sa place se trouvait un grand cône volcanique; cette idée vient naturellement à l'esprit, quand on considère la manière dont les falaises sont taillées à pic, mais nous avons voulu chercher la confirmation de ce fait.

S'il y a eu un cône volcanique au centre de la baie il a dû y avoir des fentes par lesquelles la lave montait de l'intérieur du sol pour arriver à la surface. Or, ces fentes existent réellement seulement elles sont remplies par de la lave qui s'y est solidifiée. Nous pensions trouver peut-être cinq ou six de ces filons de lave, nous en avons trouvé cinquante-trois. Il est donc probable qu'il y a eu là un grand nombre d'éruptions successives qui ont fourni la matière dont le sol de Santorin se trouve composé. En examinant ces cinquante-trois filons, nous avons trouvé qu'ils étaient dans la direction de l'éruption actuelle. Toutes ces fentes sont dirigées Est 20 degrés nord. De plus, en dehors de la baie de Santorin, il s'est produit des phénomènes volcaniques en 1650, au nord-est de l'île dans un point qu'on appelle Columbo, et ce point est encore dans la même direction par rapport au centre de l'île. Cette direction est donc caractéristique, c'est celle dans laquelle le sol s'ouvre de préférence dans la baie de Santorin.

L'éruption actuelle offre donc une très-grande régularité aussi bien dans ses phénomènes mécaniques que dans ses phénomènes chimiques.

FOUQUÉ.

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS.

PHYSIQUE MÉDICALE.

COURS DE M. GAVARRET (*).

Des images par réflexion et par réfraction.

DES LENTILLES PLACÉES DANS L'AIR (suite).

LENTILLE BICONCAVE.

64. Soient : MN (fig. 232) une lentille biconcave, C, C' les centres de courbure, $CA = r$, $C'A' = r'$ les rayons de courbure de ses deux faces.

Les foyers principaux de la première face A sont *virtuels* et ses distances focales *négatives* sont (33), formules (1) et (2):

1re distance focale : $$f_0 = -\frac{r}{n-1}$$

2e distance focale : $$f'_0 = -\frac{nr}{n-1}$$

Les foyers principaux de la seconde face A' sont *virtuels*

(*) Voy. les nos 26, 27, 28, 30 et 32, et d'autres leçons de M. Gavarret *sur la climatologie*, dans les nos 7, 8, 10, 12 et 15.

Digitized by Google

et ses distances focales *négatives* sont (38), formules (1) et (2) :

1re distance focale : $f_1 = -\frac{nr'}{n-1}$

2e distance focale : $f'_1 = -\frac{r'}{n-1}$

Ce qui donne :

(*d*) $\frac{f'_0}{f_1} = \frac{nr}{n-1} : \frac{nr'}{n-1} = \frac{r}{r'}$

65. *Centre optique.—Points nodaux. —Points et plans princi-*

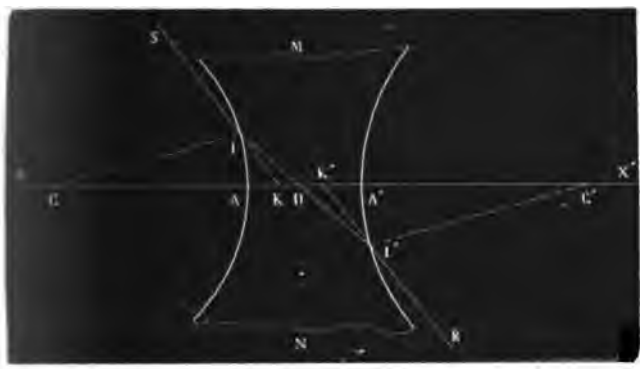


FIG. 232.

paux.—Menons (fig. 232) les deux rayons de courbure parallèles CI, C'I' et joignons II'. Le point O, où la droite II' coupe l'axe principal, est le *centre optique* de la lentille. Car, d'une part, les plans tangents en I et I' sont parallèles, et le rayon incident SI, qui pénètre suivant II', émerge nécessairement suivant I'R parallèle à SI. D'autre part, le point O est déterminé de position indépendamment des angles que font les rayons de courbure CI, C'I' avec l'axe principal.

En effet nous avons :

$$AO + A'O = AA' = e,$$

et des triangles semblables CIO, C'I'O on tire facilement :

$$\frac{AO}{A'O} = \frac{CA}{C'A'} = \frac{r}{r'}$$

Ces deux équations déterminent la position du centre optique O sur l'axe principal.

Le point K où le prolongement du rayon incident SI coupe l'axe principal et le centre optique O sont *foyers conjugués* par rapport à la première face A; le point K' ou le prolongement du rayon émergent I'R coupe l'axe principal et le centre optique O sont aussi *foyers conjugués* par rapport à la seconde face A'. Donc la position des points K, K' ne dépend que de celle du centre optique O; à tout rayon incident dont le prolongement passe par K, correspond un rayon émergent parallèle dont le prolongement passe par K', et les points K, K' sont les *points nodaux* de la lentille.

Le *premier point nodal* K est l'image du centre optique O regardé à travers la première face A; le *second point nodal* K' est l'image du centre optique O regardé à travers la seconde face A' de la lentille.

Nous avons trouvé $\frac{Ao}{A'o} = \frac{r}{r'}$, mais, d'autre part, nous avons (64), formule (*d*) $\frac{f'_0}{f_1} = \frac{r}{r'}$; donc les distances du centre optique O aux sommets A, A' des deux faces de la lentille satisfont à la relation suivante :

$$\frac{AO}{A'O} = \frac{f'_0}{f_1}$$

66. Cette dernière relation permet de déterminer géométriquement la position du centre optique O sur l'axe principal, et en même temps celle des *deux points nodaux* et des *deux points principaux* de la lentille.

Soient : *a*, *a'* (fig. 233) le *premier* et le *second* foyer principal *virtuels* de la première face A de la lentille MN; *b*, *b'* le *premier* et le *second* foyer principal *virtuels* de sa seconde face A'.

Nous avons, pour la première face A :

1re distance focale : $Aa = f_0 = -\frac{r}{n-1}$

2e distance focale : $Aa' = f'_0 = -\frac{nr}{n-1}$

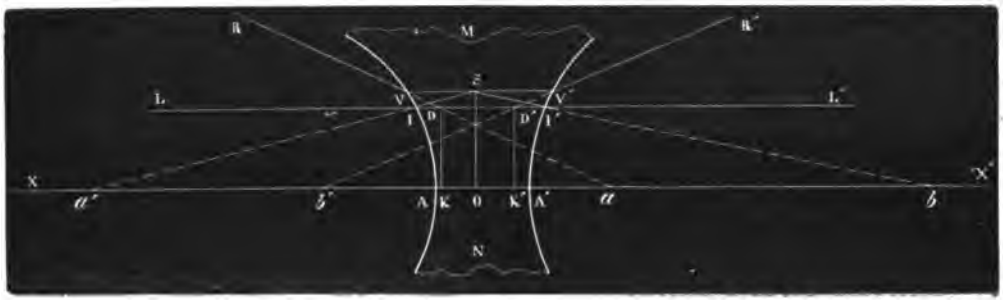


FIG. 233.

Pour la seconde face A' :

1re distance focale : $A'b = f_1 = -\frac{nr'}{n-1}$

2e distance focale : $A'b' = f'_1 = -\frac{r'}{n-1}$

La parallèle LL' à l'axe principal perce en I, I' les faces de la lentille; en raison de la très-faible amplitude de ces deux faces, AI = A'I'. Menons les droites I*a'*, I'*b* dont les prolongements se coupent en S et abaissons la perpendiculaire SO sur l'axe principal; le pied O de cette perpendiculaire est le centre optique. En effet :

D'une part, les triangles *a'*SO, *a'*IA sont semblables; d'autre part, les triangles *b*SO, *b*I'A' sont aussi semblables. Ces deux couples de triangles semblables, en tenant compte de la relation AI = A'I', donnent facilement :

$$\frac{AO}{A'O} = \frac{Aa'}{A'b}$$

Donc le point O est le centre optique de la lentille.

Mais, en faisant AA' = *e*, nous avons en outre :

$$AO + A'O = e$$

De ces deux dernières équations on tire :

$$AO = \frac{e \times Aa'}{Aa' + A'b} \qquad A'O = \frac{e \times A'b}{Aa' + A'b}$$

Digitized by Google

67. Considérons SO comme un objet lumineux qui rayonne à la fois vers les deux faces de la lentille.

La première face A reçoit du point S un rayon incident SI dont le prolongement passe par le second foyer principal a', et un rayon incident SV parallèle à l'axe principal. Le premier émerge suivant IL parallèle à l'axe principal, le second suivant VR dont le prolongement passe par le premier foyer principal a. Le point d'entrecroisement D de ces deux rayons émergents est l'image de S et la perpendiculaire DK est l'image de SO; donc K est l'image de O et le *premier point nodal* de la lentille.

La seconde face A′ reçoit de S un rayon incident SI′ dont le prolongement passe par le premier foyer principal b, et un rayon incident SV′ parallèle à l'axe principal. Le premier émerge suivant I′L′ parallèle à l'axe principal, le second suivant V′R′ dont le prolongement passe par le second foyer principal b'. Le point d'entrecroisement D′ des prolongements de ces deux rayons émergents est l'image de S et la perpendiculaire D′K′ est l'image de SO; donc K′ est l'image de O et le *second point nodal* de la lentille.

Mais les deux images DK, D′K′ de SO ainsi obtenues sont droites et de même grandeur. Les plans perpendiculaires à l'axe principal menés par K, K′ sont donc les *deux plans principaux* de la lentille, et les points K, K′ sont à la fois ses *points nodaux* et ses *points principaux*.

Soit SI (fig. 234) un rayon incident parallèle à l'axe principal; la première face A le réfracte suivant II′ dont le prolongement passe par son second foyer principal a'. Le point I′, où ce rayon réfracté rencontre la seconde face A′, appartient au rayon émergent de la lentille; mais, d'autre part, le point D′ où le rayon incident SI prolongé perce le second plan principal, appartient aussi à la direction de ce rayon émergent I′R dont la position est déterminée par ces deux points I′, D′ et dont le prolongement coupe l'axe principal en F′.

F′ est donc le *second foyer principal* de la lentille, et ce foyer est *virtuel*. La seconde distance focale est *négative* et égale en grandeur absolue à K′F′.

Les triangles F′I′A′, F′D′K′ sont semblables; d'autre part, les triangles a'I′A′, a'IA sont semblables. En tenant compte des relations $A'K' = \frac{e \times A'b'}{Aa' + A'b + e}$, D′K′ = AI, et AA′ = e, ces deux couples de triangles semblables donnent, pour la valeur de la *seconde distance focale* K′F′ de la lentille :

$$K'F' = \frac{Aa' \times A'b'}{Aa' + A'b + e}$$

En suivant la même marche, on déterminerait la position du

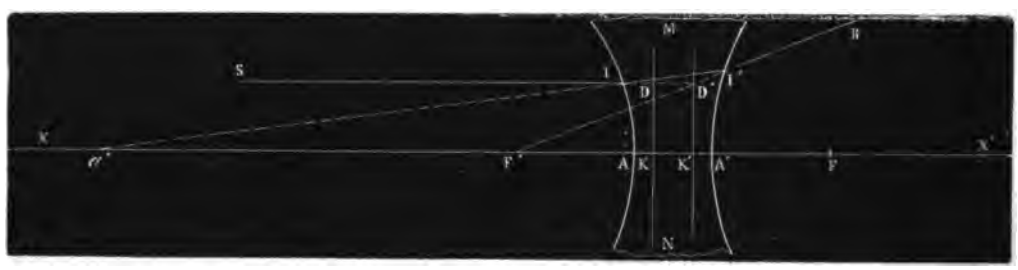


Fig. 234.

68. Pour déterminer la position du premier point nodal K sur l'axe principal, nous avons : d'une part, les deux triangles semblables a'SO, a'IA et, d'autre part, les deux triangles semblables aVA, aDK. En tenant compte des relations AV = SO, AI = DK et $AO = \frac{e \times Aa'}{Aa' + A'b}$, ces deux couples de triangles semblables donnent sans difficulté :

$$AK = \frac{e \times Aa}{Aa' + A'b + e}$$

Pour déterminer la position du second point nodal K′ sur l'axe principal, nous avons : d'une part, les deux triangles semblables bSO, bI′A′ et, d'autre part, les deux triangles semblables b'V′A′, b'D′K′. En tenant compte des relations A′V′ = SO, A′I′ = D′K′ et $A'O = \frac{e \times A'b'}{Aa' + A'b}$, ces deux couples de triangles semblables donnent :

$$A'K' = \frac{e \times A'b'}{Aa' + A'b + e}$$

69. *Foyers principaux. — Distances focales.* — De la position des points nodaux et des plans principaux, il est facile de déduire la position des foyers principaux et la valeur des distances focales de la lentille.

premier foyer principal virtuel F de la lentille, et l'on trouverait pour valeur de sa *première distance focale négative* KF :

$$KF = \frac{Aa \times A'b}{Aa' + A'b + e}$$

Mais il résulte des valeurs des distances focales des faces de la lentille (66) que $Aa \times A'b = Aa' \times A'b'$. Donc les distances focales KF, K′F′ de la lentille sont égales et, en désignant par la lettre φ leur valeur commune, nous avons :

$$\varphi = KF = K'F' = \frac{Aa \times A'b}{Aa' + A'b + e} = \frac{Aa' \times A'b'}{Aa' + A'b + e}$$

70. *Formules définitives.* Les expressions précédentes déterminées par la méthode géométrique fournissent les valeurs absolues des longueurs AO, A′O, AK, A′K′, KF, K′F′, mais n'indiquent pas les positions *réelles* des points O, K, K′, F, F′ sur l'axe principal. Pour obtenir des formules qui fournissent les valeurs *réelles* des éléments fondamentaux de la lentille, il suffit de se rappeler que les distances focales de ses faces sont toutes *négatives* et de faire dans les expressions précédentes, $Aa = -f_0$, $Aa' = -f'_0$, $A'b = -f_1$, $A'b' = -f'_1$, ce qui donne :

1° Pour la position du centre optique :

$$(1) \quad \begin{cases} AO = \dfrac{ef'_0}{f'_0 + f_1} \\ A'O = \dfrac{ef_1}{f'_0 + f_1} \end{cases}$$

Digitized by Google

2° Pour la position des points nodaux :

$$(2)\quad \begin{cases} AK = \dfrac{ef_0}{f'_0 + f_1 - e} \\ A'K' = \dfrac{ef'_1}{f'_0 + f_1 - e} \end{cases}$$

3° Pour la valeur commune des deux distances focales :

$$(3)\quad \varphi = KF = K'F' = \frac{f_0 f_1}{f'_0 + f_1 - e}$$

Il est facile de voir que ces formules, dans lesquelles les quantités f_0, f'_0, f_1, f' sont toutes *négatives*, donnent les véritables positions des points O, K, K', F, F' sur l'axe principal. En effet :

Le centre optique O et les points nodaux K, K' étant dans l'intérieur de la lentille, les distances AO, A'O, AK, A'K' doivent, d'après les conventions adoptées (44), être *positives*. Or, il est facile de voir que dans les formules (1) et (2) les numérateurs et les dénominateurs sont *négatifs*, et par suite les expressions sont *positives*.

Les foyers principaux F, F' sont *virtuels*, les distances focales de la lentille sont donc *négatives*. Or, dans la formule (3), le numérateur est *positif*, le dénominateur est *négatif*, par conséquent la valeur de φ est négative.

Pour passer des formules de la lentille biconvexe à celles de la lentille biconcave, il suffit donc de changer les signes des distances focales des deux surfaces réfringentes.

71. *Plans focaux.* — Les plans focaux de la lentille sont les deux plans perpendiculaires à l'axe principal menés par les foyers principaux F, F' ; ils jouissent des propriétés suivantes :

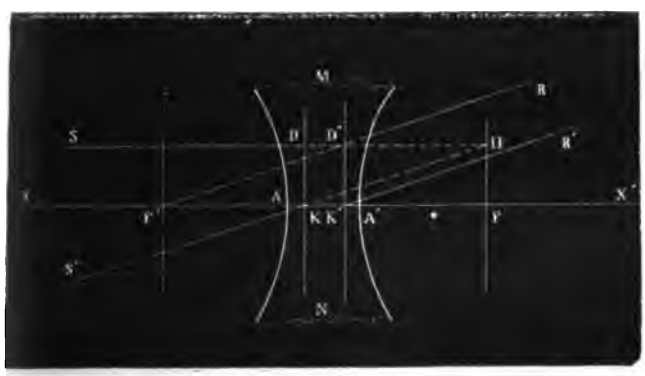


Fig. 235.

1° Soit H (fig. 235) un point lumineux *virtuel* situé sur le premier plan focal F. Parmi les rayons incidents qui prolongés concourent en H, le rayon SH parallèle à l'axe principal perce le second plan principal en D' et émerge suivant D'R dont le prolongement passe par le second foyer principal F' ; le rayon incident S'H qui passe par le premier point nodal K, émerge suivant K'R' parallèle à S'H. Or HF = D'K' comme parallèles comprises entre parallèles, et les deux distances focales KF, K'F' sont égales ; donc les triangles rectangles D'F'K', HKF sont égaux et les droites F'R, S'H sont parallèles. Les deux rayons émergents D'R, K'R' sont donc parallèles, et le foyer du point lumineux virtuel H est à l'infini. En d'autres termes :

Quand tous les rayons incidents prolongés concourent en un point H du premier plan focal, les rayons émergents correspondants sont parallèles entre eux et à la ligne de direction KH menée par le premier point nodal K et le point de concours H des prolongements des rayons incidents. — Dans le cas particulier où le point de concours H des prolongements des rayons incidents est au premier foyer principal F, les rayons émergents sont parallèles à l'axe principal.

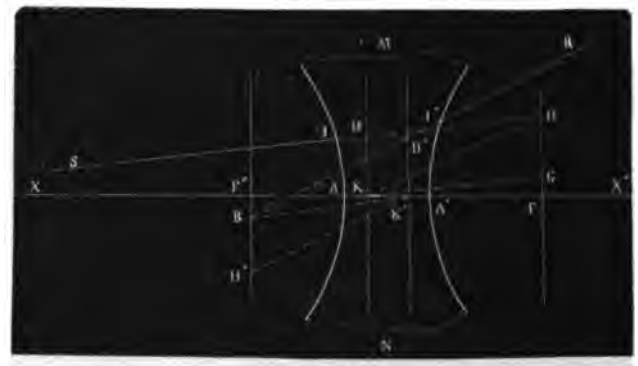


Fig. 236.

2° Soit SI (fig. 236) un rayon incident quelconque dont le prolongement perce le premier plan principal en D et le premier plan focal en H. Menons DD' parallèle à l'axe principal, le point D' appartient nécessairement à la direction du rayon émergent qui, de plus, est parallèle à la ligne de direction KH. Le rayon émergent I'R est donc déterminé ; son prolongement perce en B le second plan focal F'. — La ligne K'B, qui joint le point B au second point nodal K', est parallèle au rayon incident SI. En effet, menons K'H' parallèle au rayon émergent BR et KG parallèle au rayon incident SI. BH' = K'D' comme parallèles comprises entre parallèles ; par la même raison GH = KD ; donc BH' = GH. Mais KF = K'F' et par construction K'H' est parallèle à KH, donc les deux triangles rectangles KHF, K'H'F' sont égaux et HF = H'F'. Il résulte de cette dernière égalité que BF' = GF. Dès lors les triangles rectangles K'BF', KGF sont égaux ; d'où il suit que K'B est parallèle à KG et, par suite, au rayon incident SI. Cette construction est indépendante de la distance du point d'incidence I à l'axe principal, tous les rayons incidents parallèles à SI émergent donc de la lentille suivant des droites dont les prolongements se croisent au point B.

Donc le foyer de tout faisceau de rayons incidents parallèles entre eux est sur le second plan focal au point B, où le plan est percé par la ligne de direction K'B, parallèle aux rayons incidents, menée par le second point nodal K'. — Dans le cas particulier où les rayons incidents sont parallèles à l'axe principal, leur foyer *virtuel* est au second foyer principal F'.

Il résulte de ces deux propriétés des plans focaux que les directions d'un rayon incident quelconque SI et du rayon émergent correspondant I'R satisfont aux deux conditions suivantes : — le rayon émergent est parallèle à la ligne de direction HK menée par le premier point nodal K et le point H où le rayon incident prolongé perce le premier plan focal ; — ce rayon émergent prolongé passe par le point B où le second plan focal est percé par la ligne de direction K'B menée par le second point nodal K' parallèlement au rayon incident SI. — Étant donné un rayon incident quelconque, il est donc toujours facile de construire géométriquement le rayon émergent correspondant.

72. *Foyer d'un point lumineux situé sur l'axe principal.* — Soient : P (fig. 237) un point lumineux sur l'axe principal et PI un rayon incident quelconque dont le prolongement perce en

Digitized by Google

D le premier plan principal K et en H le premier plan focal F. Ce rayon émerge suivant la ligne D'R parallèle à HK; son prolongement coupe l'axe principal en P' et perce en B le second plan focal F'. Nous savons que BK' est nécessairement parallèle au rayon incident PI.

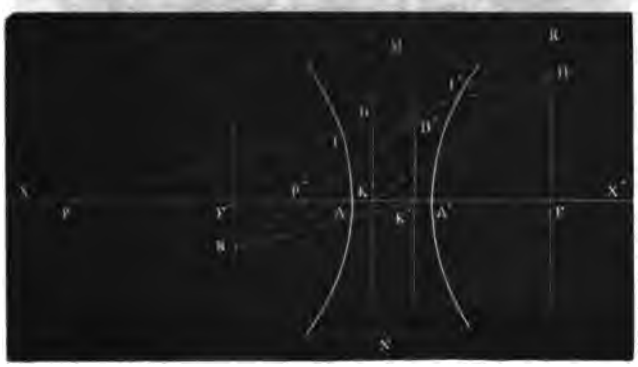


FIG. 237.

Nous avons deux couples de triangles rectangles qui sont semblables par construction PHF, K'BF' et KHF, P'BF', et qui donnent :

$$PF \times P'F' = KF \times K'F' = \varphi^2$$

Le point P', ainsi déterminé indépendamment de l'inclinaison du rayon incident sur l'axe, est le foyer *virtuel* du point lumineux P. Si nous continuons à désigner par les lettres l, l' les longueurs PF, P'F', et si nous conservons les conventions de signes adoptées (48), nous aurons pour formule générale des *foyers conjugués* (*) P, P' :

$$(4) \qquad ll' = \varphi^2$$

Le second membre φ^2 de cette équation étant une quantité *positive*, le signe de l' ne dépend que de celui de l. En appliquant à cette formule le mode de discussion déjà adopté (48), on en déduit facilement les conclusions suivantes :

A — *le point lumineux* P, *réel ou virtuel, est à gauche du premier foyer principal* F; *l est positif.* — Dans ce cas l' est *positif* et le foyer P', *virtuel* ou *réel*, est à droite du second foyer principal F'.

Le point P est à l'infini, $l = \infty$, $l' = 0$, le foyer P' est *virtuel* et coïncide avec le second foyer principal F'; il devait en être ainsi, car tous les rayons incidents sont *parallèles* à l'axe principal.

A mesure que le point lumineux P se rappproche du premier point nodal K, l diminue, l' augmente et le foyer P' *virtuel* s'éloigne du second foyer principal F' et se rapproche du second point nodal K'.

Si le point lumineux *virtuel* P est en K, $l = \varphi$, $l' = \varphi$, le foyer P', toujours *virtuel*, est au second point nodal K'.

Tant que le point lumineux *virtuel* P est compris entre le premier point nodal K et le premier foyer principal F, l est plus petit que φ, l' est plus grand que φ et le foyer P' est à droite du second point nodal K'.—Pour une certaine valeur de l, $l' = F'A'$, le foyer P' est au sommet A' de la seconde face de la lentille; pour les valeurs plus petites de l, l' est plus grand que F'A', le foyer P' devient *réel* et s'éloigne vers l'*infini*, à droite de A', à mesure que le point lumineux *virtuel* se rapproche du premier foyer principal F.

Enfin, quand le point lumineux *virtuel* P est au premier foyer principal F, $l = 0$, $l' = \infty$, le foyer P' est à l'infini, les rayons émergents sont tous parallèles à l'axe principal.

B. *Le point lumineux* P *est virtuel et à droite du premier foyer principal* F; *l est négatif.*— Dans ce cas, l' est aussi *négatif*, et le foyer P' *virtuel* est à gauche du second foyer principal F'.

Les valeurs absolues de l et de l' variant en sens contraires, le foyer *virtuel* P' se rapproche du second foyer principal ou s'en éloigne, à mesure que le point lumineux *virtuel* P s'éloigne ou se rapproche du premier foyer principal F. — Dans le cas particlier où $l = -\varphi$, on a $l' = -\varphi$; le point lumineux *virtuel* P étant à une distance du premier point nodal K double de la distance focale φ, son foyer *virtuel* P' est aussi à une distance du second point nodal K' double de la distance focale.

Ainsi, dans tous les cas, les foyers conjugués P, P' se déplacent dans le *même sens* le long de l'axe principal de la lentille.

73. *Foyer d'un point lumineux situé hors de l'axe principal.* — Soit S (fig. 238) un point lumineux quelconque situé hors de l'axe principal. Les trois rayons incidents SD parallèle à l'axe principal, SB dont le prolongement passe par le premier foyer principal F, SK qui passe par le premier point nodal K, émergent suivant D'R dont le prolongement passe par le second foyer principal F', B'R' parallèle à l'axe principal, K'G parallèle à SK. Le foyer *virtuel* du point lumineux S est donc en S', au point d'intersection des prolongements de ces trois

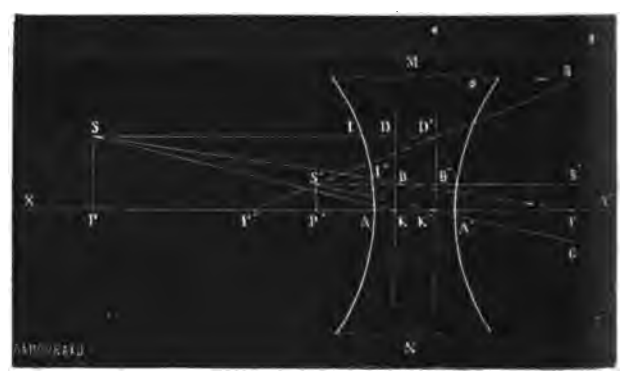


FIG. 238.

(*) Comptons les longueurs à partir des points K,K', faisons PK = p P'K' = p', et convenons de prendre p *positivement* à gauche, *négativement* à droite de K, p' *positivement* à droite et *négativement* à gauche de K'; nous aurons, en ne tenant compte que des valeurs absolues des longueurs :

$$l = p + \varphi$$
$$l' = \varphi - p'$$

D'où, en substituant dans l'équation (4) :

$$(p + \varphi)(\varphi - p') = \varphi^2$$
$$p\varphi - p'\varphi = pp'$$

Or, p' et φ sont des quantités *négatives*; si nous mettons leurs signes en évidence, et si nous divisons tous les termes de l'équation par le produit essentiellement *positif* $pp'\varphi$, nous aurons :

$$\frac{1}{p'} + \frac{1}{p} = \frac{1}{\varphi}$$

Telle est l'équation classique des foyers conjugués dans le cas de la lentille biconcave; le second terme est *négatif*, car φ est une quantité *négative*.

Digitized by Google

rayons émergents.—Des points S, S′ abaissons les perpendiculaires SP, S′P′ sur l'axe principal.

En tenant compte des relations SP = D′K′, S′P′ = BK, KF = K′F′ = φ, les deux couples de triangles rectangles semblables FSP, FBK et F′D′K′, F′S′P′ donnent :

$$(5)\qquad \begin{cases} PF \times P'F' = \varphi^2 \\ \dfrac{S'P'}{SP} = \dfrac{\varphi}{PF} \end{cases}$$

Étant donné le point lumineux S, ces deux formules déterminent la position de son foyer S′. — La première montre que les pieds P, P′ des perpendiculaires abaissées du point lumineux S et de son foyer S′ sur l'axe principal satisfont à l'équation générale des foyers conjugués.

Dans la figure 238, le point lumineux S et son foyer *virtuel* S′ sont du même côté de l'axe principal. Ces deux points étant assujettis à se trouver sur les lignes de direction parallèles SK, S′K′, leurs positions relatives restent évidemment les mêmes dans tous les cas où les points nodaux K, K′ sont situés en dehors de l'intervalle qui sépare P de P′.

74. *Rapports de position et de grandeur d'un objet lumineux et de son image.* — Les formules (5) montrent que si des points lumineux sont situés sur un plan perpendiculaire à l'axe principal mené par SP (fig. 239), leurs foyers se trouvent sur un

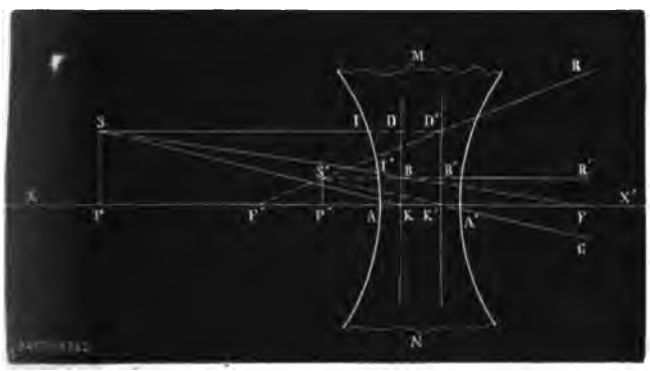


Fig. 239.

plan perpendiculaire à l'axe principal mené par S′P′; il est évident, d'ailleurs, que ces points lumineux et leurs foyers sont semblablement distribués sur les deux plans.

Si SP est un objet lumineux ou éclairé, S′P′ est donc nécessairement son image semblable. La première des formules (5) détermine leurs positions relatives; la seconde est l'expression des rapports de leurs dimensions linéaires.

La discussion de ces deux formules conduit sans peine aux conclusions suivantes :

A. — *L'objet* SP, *réel ou virtuel, est à gauche du premier plan focal* F; PF *est positif.*— Dans ce cas, P′F′ est aussi *positif*, et l'image S′P′, *virtuelle* ou *réelle*, est à droite du second plan focal F′.

Quand l'objet SP est infiniment éloigné, PF est infiniment grand, P′F′ est infiniment petit; l'image S′P′ est sur le second plan focal F′, infiniment petite par rapport à l'objet.

Tant que l'objet, *réel ou virtuel*, SP est à gauche du premier plan principal K, PF est plus grand que φ, P′F′ est plus petit que φ, l'image *virtuelle* S′P′ est entre le second plan focal F′ et le second plan principal K′, et plus petite que l'objet SP.

Quand l'objet *virtuel* SP est sur le premier plan principal K, son image S′P′ est de même grandeur, *virtuelle* et sur le second plan principal K′.

Pour une certaine position de l'objet *virtuel* SP à droite du premier plan principal K, son image S′P′ est sur la seconde face de la lentille et plus grande que l'objet. — A partir de cette position, à mesure que l'objet *virtuel* SP s'éloigne du premier plan principal K et se rapproche du premier plan focal F, son image *réelle* S′P′ grandit, s'éloigne à droite de la lentille et marche vers l'infini.

Enfin quand l'objet virtuel SP est sur le premier plan focal F, son image *réelle* S′P′ est infiniment éloignée et infiniment grande par rapport à l'objet.

Dans tous ces cas, d'ailleurs, l'image S′P′, *virtuelle* ou *réelle*, est droite par rapport à l'objet SP *réel* ou *virtuel*.

B. — *L'objet virtuel* SP *est à droite du premier plan focal* F; PF *est négatif.* — Dans ce cas P′F′ est aussi *négatif*, et l'image S′P′ est *virtuelle* et à gauche du second plan focal F′.

Les valeurs absolues de PF et de P′F′ variant en sens contraires, l'image *virtuelle* S′P′ se rapproche du second plan focal F′ on s'en éloigne à mesure que l'objet *virtuel* s'éloigne ou se rapproche du premier plan focal F.—Dans le cas particulier où on a PF = — φ, P′F′ = — φ; l'objet *virtuel* SP étant à une distance du premier plan principal double de la distance focale φ, son image *virtuelle* S′P′ est de même grandeur et à une distance du second plan principal double de la distance focale φ.—L'image est plus grande ou plus petite que l'objet suivant que la grandeur de PF est plus petite ou plus grande que la distance focale φ.

Dans tous ces cas, d'ailleurs, l'image *virtuelle* S′P′ est *renversée* par rapport à l'objet *virtuel* SP.

Ainsi donc, en résumé, dans la lentille biconcave :

1° Comme les foyers conjugués, un objet et son image se dédéplacent toujours dans *le même sens* le long de l'axe principal;

2° Un objet SP et son image S′P′ étant tout entiers compris entre l'axe principal et les lignes de direction SK, K′S′ parallèles entre elles, un œil qui regarde successivement l'objet du premier point nodal K et son image du second point nodal K′ les voit nécessairement sous le même angle.

LENTILLE PLAN-CONCAVE.

75. Dans le cas de la lentille plan-concave MN (fig. 240), les foyers principaux de la première face A sont *virtuels*, et ses distances focales *négatives* ont pour valeur (33), formules (1) et (2) :

1re distance focale : $f_0 = -\dfrac{r}{n-1}$

2e distance focale : $f'_0 = -\dfrac{nr}{n-1}$

En reprenant les constructions et les raisonnements employés pour la lentille plan-convexe, on trouve facilement que dans la lentille plan-concave :

1° Le sommet A de la première face est à la fois le *centre optique*, le *premier point nodal* et le premier *point principal* de la lentille;

2° Le point K′ situé dans l'intérieur de la lentille à une distance de la seconde face $A'K' = \dfrac{e}{n}$ est à la fois le *second point nodal* et le *second point principal* de l'appareil;

3° Le *premier plan principal* est un plan perpendiculaire à

Digitized by Google

l'axe principal mené par le point A, et se confond sensiblement avec la face concave A; le *second plan principal* et le plan perpendiculaire à l'axe principal mené par le second point nodal K';

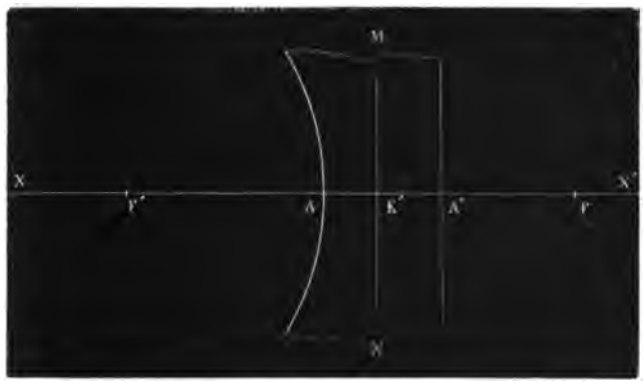


Fig. 240.

4° Le premier foyer principal F et le second foyer principal F' de la lentille sont *virtuels;*

5° Les distances focales AF, K'F' sont *négatives*, égales et ont pour valeur commune :

$$\varphi = AF = K'F' = f_0$$

Pour déduire ces éléments fondamentaux de la lentille plan-concave des équations qui déterminent ceux de la lentille biconvexe, il suffit de remarquer que dans ces équations les valeurs de f_1, f'_1 sont *infinies* puisque le rayon de courbure r' de la seconde face A' de la lentille est *infini*. Il faut, en outre, affecter du signe *négatif* les distances focales f_0, f'_0 de la première face A.

Ajoutons d'ailleurs que dans la lentille plan-concave :

1° Les plans focaux jouissent des mêmes propriétés que ceux de la lentille biconcave.

2° Les foyers conjugués ainsi que les rapports de position et de grandeur d'un objet et de son image sont déterminés par par les mêmes formules que dans la lentille biconcave.

MÉNISQUE DIVERGENT.

76. Soient : MN (fig. 241), un ménisque divergent, A le sommet de la première face convexe, A' le sommet de la seconde face concave, C, C' les centres de courbure des deux faces. — Le centre de courbure C de la première face est plus éloigné que le centre de courbure C' de la seconde, par suite le rayon de courbure $CA = r$ de la première face est plus grand que le rayon de courbure $C'A' = r'$ de la seconde face.

Les foyers principaux de la première face A sont *réels*, ses distances focales sont *positives* et ont pour valeur (25), formules (1) et (2).

1re distance focale : $$f_0 = \frac{r}{n-1}$$

2e distance focale : $$f'_0 = \frac{nr}{n-1}$$

Les foyers principaux de la seconde face A' sont *virtuels*, ses distances focales sont *négatives* et ont pour valeur (38), formules (1) et (2) :

1re distance focale : $$f_1 = -\frac{nr'}{n-1}$$

2e distance focale : $$f'_1 = -\frac{r'}{n-1}$$

En ne tenant compte que des valeurs absolues des distances focales, nous avons donc :

$$(d) \qquad \frac{f'_0}{f_1} = \frac{nr}{n-1} : \frac{nr'}{n-1} = \frac{r}{r'}$$

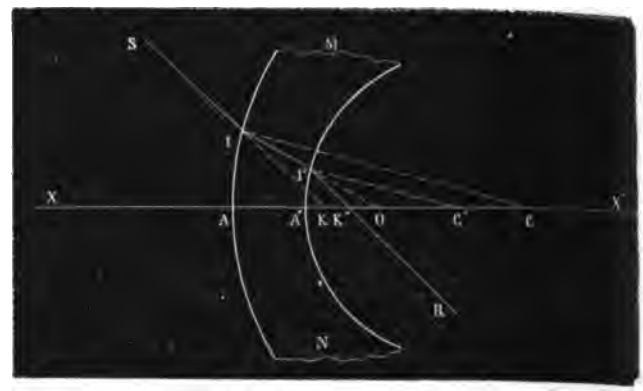


Fig. 241.

77. *Centre optique. — Points nodaux. — Points et plans principaux.* — Par les centres C, C' des deux faces (fig. 241), menons deux rayons de courbures parallèles CI, C'I' et la droite II' qui, prolongée, coupe l'axe principal en O. — Ce point O est le centre optique de la lentille. — Car d'une part le rayon incident SI qui pénètre suivant II' émerge nécessairement suivant I'R parallèle à SI ; d'autre part la position du point O est déterminée par les relations :

$$AO - A'O = e$$

$$\frac{AO}{A'O} = \frac{r}{r'}$$

Le point K où le rayon incident SI prolongé coupe l'axe principal est évidemment l'image du point O regardé à travers la première face A. — Le point K' où le rayon émergent I'R coupe l'axe principal est l'image formée par la seconde face A' du point O considéré comme point lumineux *virtuel* par rapport à cette face. — La position des points K, K' ne dépend donc que de celle du point O; à tout rayon incident dont le prolongement passe par K correspond un rayon émergent parallèle qui passe par K'; ces points K, K' sont donc le *premier* et le *second point nodal* de la lentille.

Il résulte évidemment de l'équation (d) (76) que les distances du centre optique O aux sommets A, A' des deux faces du ménisque satisfont à la relation suivante :

$$\frac{AO}{A'O} = \frac{f'_0}{f_1}$$

78. Cette nouvelle relation donne le moyen de déterminer géométriquement la position du centre optique O en même temps que celle des deux points nodaux K, K' de la lentille.

Soient : a, a' (fig. 242) le premier et le second foyer principal, tous les deux *réels*, de la première face A de la lentille; b, b' le premier et le second foyer principal, tous les deux *virtuels*, de sa seconde face A'.

Nous avons pour la première face A :

1re distance focale : $$Aa = f_0 = \frac{r}{n-1}$$

2e distance focale : $$Aa' = f'_0 = \frac{nr}{n-1}$$

Pour la seconde face A' :

1re distance focale : $$A'b = f_1 = -\frac{nr'}{n-1}$$

Digitized by Google

2° distance focale : $A'b' = f'_1 = -\frac{r'}{n-1}$

Par les points I, I' où la droite LL' parallèle à l'axe principal perce les deux faces, menons les lignes Ia', I'b ; du point S où ces deux droites se coupent abaissons la perpendiculaire SO sur l'axe principal ; le pied O de cette perpendiculaire est le centre optique. En effet :

Les triangles a'IA, a'SO sont semblables, et les triangles bI'A', bSO sont aussi semblables. En tenant compte de la relation AI = A'I', ces deux couples de triangles semblables donnent :

$$\frac{AO}{A'O} = \frac{Aa'}{A'b}$$

Donc le point O ainsi déterminé est le centre optique de la lentille.

Mais les deux images DK, D'K' de SO, ainsi obtenues, sont droites et de même grandeur. Les plans perpendiculaires à l'axe principal menés par K, K' sont donc le *premier* et le *second plan principal* de la lentille, et les points K, K' sont à la fois ses *points nodaux* et ses *points principaux*.

80. Pour déterminer la valeur de la distance AK, nous avons les deux triangles semblables a'IA, a'SO et les deux triangles semblables aDK, aVA. — En tenant compte des relations AI = KD, AV = SO et $AO = \frac{e \times Aa'}{Aa' - A'b}$, ces deux couples de triangles semblables donnent :

$$AK = \frac{e \times Aa}{Aa' - A'b - e}$$

Pour déterminer la valeur de la distance A'K', nous avons

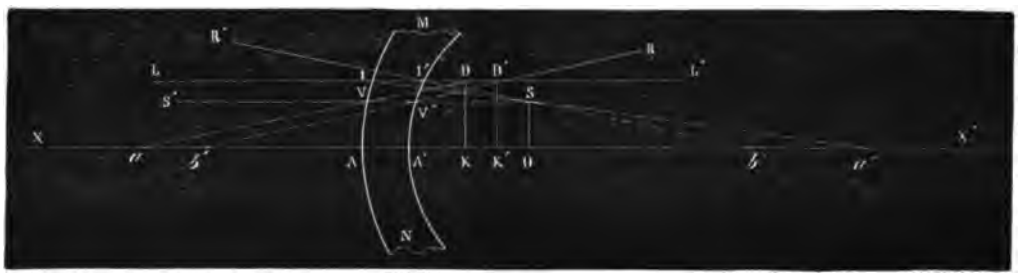


Fig. 242.

Mais nous avons, en outre :

$$AO - A'O = e$$

De ces deux équations, on tire :

$$AO = \frac{e \times Aa'}{Aa' - A'b} \qquad A'O = \frac{e \times A'b}{Aa' - A'b}$$

79. L'objet SO regardé à travers la première face A donne une image facile à construire. — Du point S part un rayon incident a'SI qui émerge suivant IL parallèle à l'axe principal ; le point S fournit un rayon incident SV parallèle à l'axe principal qui émerge suivant Va. Le point D où se coupent les prolongements de ces deux rayons émergents est donc l'image de S, la perpendiculaire DK à l'axe principal est l'image de SO, le pied K de cette perpendiculaire est l'image de O et le *premier point nodal* de la lentille.

Considérons SO comme un objet *virtuel* par rapport à la seconde face A'. — Le rayon incident S'S parallèle à l'axe principal émerge suivant V'R dont le prolongement passe par le second foyer principal b' ; le rayon incident R'Sb émerge suivant I'L' parallèle à l'axe principal ; le point de croisement D' de ces deux rayons émergents est donc l'image de S. D'K' est l'image de SO, K' est l'image de O et le *second point nodal* de la lentille.

les deux triangles semblables bI'A', bSO et les deux triangles semblables b'D'K', b'V'A'. — En tenant compte des relations A'I' = D'K', A'V' = SO et $A'O = \frac{e \times A'b}{Aa' - A'b}$, ces deux couples de triangles semblables donnent :

$$A'K' = \frac{e \times A'b'}{Aa' - A'b - e}$$

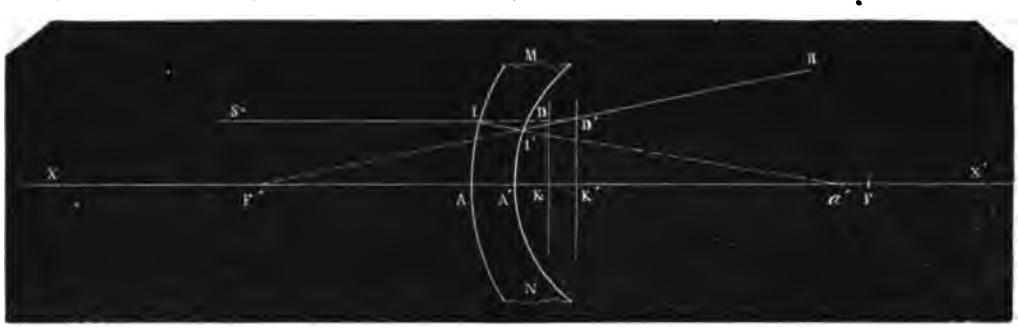


Fig. 243.

81. *Foyers principaux.— Distances focales.* — De la position des points nodaux et des plans principaux de la lentille, il est facile de déduire la position de ses foyers principaux F, F' et la valeur des distances focales KF, K'F'.

Le rayon incident SI (fig. 243), parallèle à l'axe principal, prolongé perce le second plan principal en un point D' qui appartient au rayon émergent de la lentille. Ce rayon incident est réfracté par la première face A suivant Ia' qui perce la seconde face en un point I' qui appartient aussi au rayon émergent ; le prolongement du rayon émergent I'R ainsi déterminé coupe l'axe principal en F'.

F' est donc le *second foyer principal* de la lentille et ce foyer est *virtuel*. La seconde distance focale est *négative* et égale à K'F'.

Les triangles F'I'A', F'D'K' sont semblables ainsi que les triangles a'IA, a'I'A'. En tenant compte des relations D'K' = AI,

Digitized by Google

$AA' = e$, $A'K' = \frac{e \times A'b'}{Aa' - A'b - e}$, ces deux couples de triangles semblables donnent pour valeur de la seconde distance focale K'F' de la lentille :

$$K'F' = \frac{Aa' \times A'b'}{Aa' - Ab' - e}$$

En suivant la même marche, on déterminerait la position du *premier foyer principal virtuel* F de la lentille, et on trouverait pour valeur de sa *première distance focale négative* KF :

$$KF = \frac{Aa \times A'b}{Aa' - A'b - e}$$

Mais il résulte des valeurs des distances focales des faces de la lentille (78) que $Aa \times A'b = Aa' \times A'b'$. Donc les distances focales KF, K'F' de la lentille sont égales et, en désignant par la lettre φ leur valeur commune, nous avons :

$$\varphi = KF = K'F' = \frac{Aa \times A'b}{Aa' - A'b - e} = \frac{Aa' \times A'b'}{Aa' - A'b - e}$$

GAVARRET.

ENSEIGNEMENT LIBRE.

PHYSIOLOGIE MÉDICALE

COURS DE M. MAREY (1).

Du mouvement dans les fonctions de la vie.

VII

LIMITE DE FRÉQUENCE DES EXCITATIONS ÉLECTRIQUES QUI PROVOQUENT LA CONTRACTION DES MUSCLES VOLONTAIRES.

Nous avons vu jusqu'ici l'intensité de la contraction musculaire croître avec la fréquence des excitations électriques qui la provoquent. Il est pourtant, dans certains cas, une limite au delà de laquelle l'augmentation de fréquence des excitations électriques, bien loin d'augmenter l'intensité de la contraction, la fait diminuer et même disparaître. — Répétant un jour l'expérience qui a fourni le graphique 1, et qui consiste à provoquer la contraction d'un muscle par des excitations de fréquence accélérée, je me servis d'un poids plus lourd que de coutume. Je m'attendais à éprouver une sensation beaucoup plus forte et à observer une contraction beaucoup plus énergique. J'observai, à ma grande surprise, que la sensation douloureuse que j'éprouvai d'abord faiblissait rapidement pour disparaître tout à fait, et qu'en même temps le levier enregistreur de la contraction musculaire indiquait un affaiblissement progressif et une cessation complète de cette contraction. J'accusai d'abord l'appareil de quelque erreur et je supposai que les contacts cessaient de se produire avec une rotation trop rapide de la machine, mais je reconnus bientôt qu'il fallait chercher une autre cause à ce phénomène. Déjà Masson avait observé que les excitations électriques obtenues avec la machine de Pixii ne semblaient pas agir également bien sur les muscles des animaux lorsqu'on accélérait beaucoup les interruptions du courant. Un chat sur lequel ce physicien faisait ces expériences poussait des cris lorsqu'on tournait lentement la machine, semblait se calmer lorsqu'on accélérait la rotation et donnait de nouveau des signes de vive douleur si l'on ralentissait le mouvement.

La conclusion de Masson fut qu'une condition physiologique particulière devait être la cause de ces singuliers effets, et qu'à chaque excitation électrique il fallait un certain temps pour que le muscle eût le temps de réagir.

Dans ces dernières années, M. Guillemin, à qui l'on doit de beaux travaux sur l'état variable des courants électriques, observa les mêmes phénomènes. Mais il remarqua de plus que la présence du fer doux dans la bobine inductrice modifiait l'état variable des courants induits et en prolongeait beaucoup la durée. Or, comme les courants induits qui se prolongent à la clôture et à la rupture d'un courant inducteur sont de sens inverse l'un par rapport à l'autre, il s'ensuit que ces deux courants, s'ils se produisent trop près l'un de l'autre, se neutralisent en partie. C'est ainsi que leur effet décroît sous l'influence d'un mouvement trop rapide de l'appareil interrupteur. Cette dernière interprétation, entièrement basée sur les lois de la physique, me semble être la seule vraie; vous allez voir qu'elle est susceptible d'une démonstration très-claire par l'emploi de la méthode graphique.

Un interrupteur mécanique est fixé sur le bord de la table, une manivelle permet de lui imprimer une rotation plus ou moins rapide à volonté. D'autre part, un compteur enregistrant trace sur le cylindre au moyen d'un levier, des vibrations dont chacune correspond à 24 excitations électriques. Un autre levier enregistre en même temps le mouvement musculaire que je recueille sur moi-même au moyen de la pince myographique.

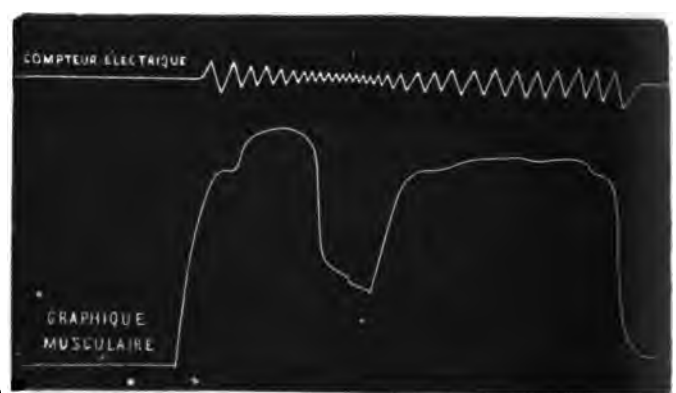


FIG. 244.

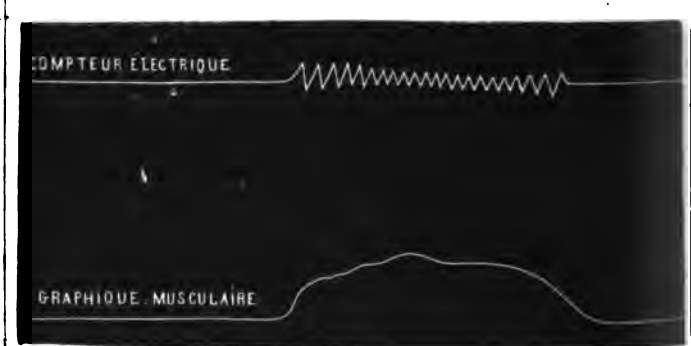


FIG. 245.

Première expérience. — J'emploie comme excitant les courants induits et je laisse le fer doux enfoncé dans la bobine. — Je tourne la manivelle lentement, puis plus vite, enfin avec une grande rapidité. — Le graphique (fig. 244) nous montre à

(1) Voyez les numéros 10, 12, 20, 21, 25 et 33.

Digitized by Google

partir d'un certain moment, que plus la fréquence des excitations s'accroît, plus l'intensité de la contraction diminue. On voit la courbe musculaire tomber très-bas au moment où la vitesse est à son maximum. A cet instant, le nombre des courants induits est d'environ 240 par seconde.

Deuxième expérience. — J'enlève les fers doux de la bobine et j'opère comme tout à l'heure. La contraction musculaire augmente d'intensité à mesure que je tourne plus rapidement la manivelle ; elle semble rester stationnaire, sauf quelques légères variations ; mais on ne la voit pas décroître, quelle que soit la vitesse de rotation de l'appareil (fig. 245).

Troisième expérience. — J'emploie comme excitant l'extra-courant de la bobine inductrice, et je laisse le fer doux dans cette bobine. Lorsque la manivelle tourne lentement les secousses musculaires sont très-énergique ; la douleur très-violente. Je tourne plus vite, la contraction se produit et la douleur diminue déjà. Je tourne encore plus vite, toute douleur cesse, la contraction faiblit et disparaît presque entièrement. Tout s'est donc passé comme dans l'expérience représentée dans la figure 244.

Si j'enlève le fer doux, l'extra-courant ne produit plus aucune action sur mes muscles.

De ces expériences il résulte : 1° que pour les courants induits et les extra-courants du circuit de pile, la présence du fer dans la bobine diminue les effets physiologiques, lorsque la fréquence des excitations électriques dépasse une certaine limite.

2° Que l'absence du fer doux supprimant cet effet, il faut rejeter l'hypothèse d'une condition physiologique, qui ne permettrait pas aux muscles ou aux nerfs de subir plus d'un certain nombre d'excitations par secondes.

3° Enfin, que la théorie de M. Guillemin rend compte de tous les faits qui viennent de se produire dans les expériences précédentes ; elle est donc entièrement satisfaisante.

DES DIFFÉRENCES QUE PRÉSENTE LA FONCTION DANS LES DIFFÉRENTS MUSCLES D'UN ANIMAL.

Jusqu'ici, messieurs, nous n'avons étudié que les différences qui surviennent dans l'acte musculaire, suivant la nature de l'excitation portée sur les nerfs ou les muscles. Nous allons voir maintenant comment réagissent les différents ordres de muscles sous l'influence d'excitations semblables entre elles.

Des différences nombreuses vont nous frapper, non-seulement suivant l'espèce animale, sur laquelle nous explorerons l'acte musculaire, mais aussi suivant que chez un même animal nous observerons tel ou tel muscle.

Sur la grenouille, par exemple, les différents muscles de la vie de relation ne m'ont pas paru présenter la même forme de secousse, pour des excitations identiques ; il est vrai que le degré d'épuisement d'un muscle modifie beaucoup les caractères de sa secousse, et que sur un animal récemment sacrifié tous les muscles ne s'altèrent pas également vite, de sorte que leurs fonctions cessent bientôt d'être comparables. Cependant, en me plaçant dans les meilleures conditions, j'ai cru remarquer que certains muscles volontaires ont normalement une secousse beaucoup plus brève que certains autres. Ainsi, le gastro-cnémien m'a paru avoir une secousse sensiblement plus brève que celle des muscles de la langue, mais ces expériences auront besoin d'être reprises.

Si l'on quitte les muscles de la vie de relation pour observer ceux de la vie organique, on trouve des différences tellement tranchées qu'elles vous frappent au premier abord. Je n'ai pas encore réussi à obtenir un graphique bien net des muscles intestinaux, mais le cœur se prête très-bien aux expériences ; j'ai donc pu les répéter un grand nombre de fois.

Caractères graphiques de la systole du cœur. — Étudiée sur le vivant, la systole du cœur est un acte complexe, dans lequel l'action musculaire se mélange à des mouvements passifs communiqués par le liquide sanguin aux valvules et aux parois de l'organe. Suivant l'état de la fonction, suivant l'espèce animale sur laquelle on l'observe, le graphique du cœur peut offrir les caractères les plus différents. Mais l'acte musculaire lui-même présente chez tous les animaux une uniformité frappante lorsqu'il est dégagé d'influences étrangères.

Pour cela, il faut empêcher la fonction circulatoire de s'effectuer. Le moyen le plus simple est de détacher entièrement le cœur d'un animal et de le placer sous le levier enregistreur. Le muscle cardiaque se contracte ainsi à vide et se trouve placé dans des conditions semblables à celles des muscles volontaires que nous avons étudiés précédemment.

Si nous appliquons au cœur d'une tortue les excitations fréquentes d'une bobine d'induction, nous voyons que le cœur au lieu de se tétaniser comme le ferait un muscle volontaire, continue à fournir ses systoles régulières, peut-être un peu plus fréquentes que si l'on n'excitait pas l'organe, mais enfin tout à fait indépendantes du nombre des excitations électriques qui lui sont appliquées.

Au point de vue de sa forme graphique, chaque systole du cœur rappelle parfaitement une secousse musculaire unique avec cette différence que la secousse du muscle volontaire est beaucoup plus brève comme nous l'avons vu.

Enfin, si l'on observe une série de systoles successives, on voit que ces mouvements changent de durée et d'amplitude, absolument comme le font les secousses d'un muscle de la vie animale sous l'influence de l'épuisement. Les systoles prennent plus de durée, perdent de leur amplitude et finissent par s'éteindre tout à fait. Une systole, observée à un moment donné, présente une durée que l'on peut prévoir à l'avance : elle sera fatalement un peu plus longue que la systole qui l'a précédée, un peu plus courte que celle qui la suivra. De sorte que si l'on superposait les graphiques de systoles successives, on aurait une figure tout à fait comparable à celle que nous a donnée la superposition de secousses successives.

Tant de ressemblances entre la systole du cœur et la secousse d'un muscle m'ont fait supposer que la systole n'est pas une contraction proprement dite, c'est-à-dire cet état complexe qui résulte de la fusion de secousses multiples, mais qu'elle est constituée par une secousse unique du muscle cardiaque. La grande durée de la systole ne constitue entre celle-ci et la secousse des muscles volontaires qu'une différence tout à fait accessoire. — Mais à quel contrôle pouvais-je soumettre cette prévision ? — Voici le moyen détourné qui me paraît avoir résolu cette difficulté.

Des phénomènes d'induction employés comme moyen d'analyser un acte musculaire. — Nous avons déjà parlé (p. 333) des phénomènes découverts par Matteucci et désignés par lui sous le nom de contraction induite. Vous savez qu'ils consistent en ceci. Lorsqu'une patte galvanoscopique de grenouille est mise en rapport avec une autre patte semblable, de telle sorte que le nerf de la seconde repose sur le muscle de la première ; si

Digitized by Google

cette première patte vient à se contracter, la seconde se contracte pareillement. Dans ce cas, les changements électriques qui surviennent dans le premier muscle au moment où il se contracte, exercent sur le nerf qui le touche une action inductrice qui provoque la contraction du muscle auquel ce nerf se rend.

En recueillant le graphique du mouvement qui se produit dans les deux muscles, l'inducteur et l'induit, j'ai pu constater les faits suivants :

1° Une secousse unique de la patte inductrice n'amène jamais qu'une secousse dans la patte induite.

2° Le tétanos ou contraction de la première patte induit la contraction dans la seconde.

3° La patte induite n'emprunte pas à l'inductrice le caractère de son mouvement. — Ainsi, en prenant comme inductrice une patte de grenouille épuisée, et par conséquent lente à se mouvoir, on induira dans une patte fraîche les secousses brèves qui appartiennent au muscle non épuisé.

Ces premiers faits m'ont paru fournir un nouveau moyen d'analyser l'acte musculaire. En effet, si un mouvement, quelque prolongé qu'il puisse être, n'induit dans une patte de grenouille qu'une secousse unique, c'est probablement qu'il ne consiste lui-même qu'en une secousse musculaire. Or, c'est ce qui se passe lorsqu'on applique la systole du cœur comme inductrice sur une patte galvanoscopique.

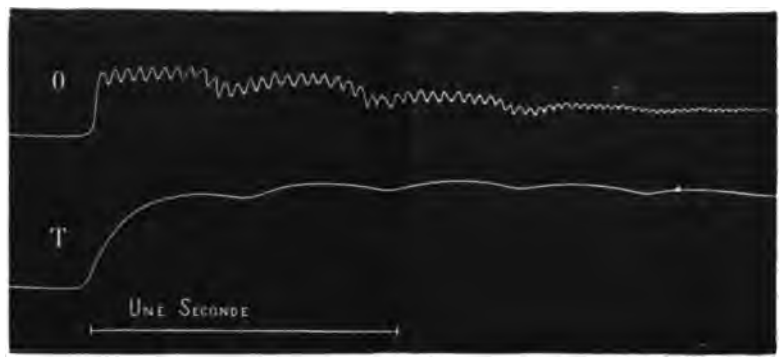


Fig. 246

Secousse induite par la systole du cœur dans une patte de grenouille. — Je place le nerf d'une patte galvanoscopique sur le cœur d'une grenouille, et nous voyons que chacune des systoles cardiaques induit dans la patte une secousse unique, très-brève, environ quinze fois plus courte que la systole du cœur qui l'avait provoquée. Il paraît donc naturel de conclure que la systole du cœur n'est point assimilable aux contractions proprement dites, c'est-à-dire à ces efforts soutenus que produisent les muscles volontaires en fusionnant une série de secousses. La systole du cœur semble au contraire correspondre à la secousse du muscle cardiaque. Ainsi s'explique l'analogie de sa forme avec celle de la secousse d'un muscle en général ; la transformation que la fatigue fait éprouver à la systole cardiaque comme à une secousse musculaire, etc. Cette nouvelle manière de comprendre les mouvements du cœur conduira peut-être à mieux comprendre aussi différents phénomènes qui se relient à l'acte musculaire de cet organe.

DES VARIÉTÉS DE FORME QUE PRÉSENTE LE MOUVEMENT DANS LES MUSCLES VOLONTAIRES DE DIFFÉRENTES ESPÈCES ANIMALES.

Lorsqu'on écoute le son que produit en vibrant l'aile de certains insectes, on perçoit une tonalité extrêmement aiguë, et l'on a pu en conclure que l'aile de ces insectes exécute en une seconde plus de mille mouvements. Or, puisque d'autre part la secousse la plus brève qu'on puisse provoquer dans les muscles de la grenouille semble durer environ six à huit centièmes de seconde, puisque le nombre maximum des secousses perceptibles qu'on peut provoquer dans ces muscles n'excède guère trente par seconde, il est évident que les caractères du mouvement varient dans les diverses espèces animales.

Une belle étude de physiologie comparée serait à entreprendre : elle consisterait à déterminer les caractères et la durée du mouvement qui se produit dans les muscles d'animaux de différentes espèces, sous l'influence d'excitations semblables.

Quelques expériences que j'ai entreprises à ce sujet m'ont donné déjà des résultats intéressants. Elles m'ont montré qu'une excitation électrique produit dans les muscles volontaires de différents animaux des mouvements bien différents.

La Tortue terrestre, dont la marche est si lente, présente, dans les caractères de sa secousse musculaire, une lenteur extrême. Si l'on applique la pince myographique à la patte d'une tortue et qu'on électrise ce membre, la secousse unique qui s'ensuit dure autant que la systole du ventricule d'une grenouille. Voilà donc un muscle volontaire dont l'action se rapproche tout à fait de celle des muscles de la vie organique. Ce fait me semble d'autant plus important qu'il supprime la dernière dissemblance qui restait encore entre une systole ventriculaire et la secousse d'un muscle de la vie animale.

Chez les Crustacés, la secousse est assez longue également; c'est surtout la période de retour du muscle à sa longueur normale qui est prolongée. En somme, sur l'Écrevisse, j'ai trouvé des secousses d'environ une demi-seconde de durée.

Les muscles des poissons ont, au contraire, une secousse extrêmement rapide. La durée de ce mouvement serait même chez eux moindre que chez les mammifères. Sur une Tanche j'ai obtenu des graphiques dont la durée n'excédait pas deux centièmes de seconde.

Enfin, chez les oiseaux, la secousse est tellement brève que j'ai pu obtenir jusqu'à 75 secousses par seconde sans arriver au tétanos; si je me suis arrêté à cette limite, c'est que l'interrupteur électrique dont je disposais ne pouvait donner des vibrations plus rapides.

Il serait intéressant de rapprocher les uns des autres les graphiques musculaires fournis par différentes espèces animales et de les réunir dans un tableau synoptique.

Je me borne à représenter (fig. 246) les graphiques obtenus sur l'oiseau O (1), et sur la tortue T, dans deux expériences comparatives. On voit dans ces graphiques que la patte de la tortue est presque tétanisée avec deux secousses par seconde, tandis que l'oiseau en reçoit un nombre bien plus considérable sans arriver au tétanos.

MAREY.

(1) Les grandes ondulations que produit le graphique musculaire de l'oiseau sont produites par les mouvements respiratoires ; la pince myographique était appliquée sur les muscles pectoraux.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE NUMÉRO 35 28 JUILLET 1866

HOTEL DE VILLE DE VERSAILLES.

CONFÉRENCE DE M. ACHILLE CAZIN.

Le son.

Lorsque nous entendons un son, il se passe en nous un phénomène physiologique, duquel résulte une sensation agréable ou désagréable : la cause de cette sensation est évidemment hors de nous, dans quelque objet voisin et, après avoir écouté le son attentivement, nous pouvons presque toujours dire dans quelle direction se trouve cet objet. La branche de la physique, à laquelle on a donné le nom d'acoustique, comprend l'étude des modifications que subit la matière, lorsqu'elle produit le son ; elle n'a pas pour but d'étudier la sensation elle-même, et si le physicien a quelquefois recours à cette sensation pour faciliter ses jugements, bien souvent il met en évidence les lois qu'il a découvertes à l'aide d'ingénieux appareils, où l'œil peut suivre dans tous ses détails les évolutions du corps sonore.

La science de l'acoustique a été très-cultivée par les mathématiciens et les physiciens du siècle dernier. De nos jours, après les beaux travaux de Savart en France, de Wheatstone en Angleterre, on pouvait la regarder comme une des branches de la physique les plus avancées. Et pourtant il restait un grand progrès à accomplir ; c'est en 1863, qu'a paru un remarquable ouvrage de M. Helmholtz, professeur à l'Université d'Heidelberg, intitulé : *Théorie de la perception des sons*, dans lequel sont formulées pour la première fois les lois du *timbre* des sons. Grâce aux découvertes du savant allemand, grâce aux habiles dispositions expérimentales de M. Kœnig, la lacune de l'acoustique sera comblée. Vous aurez, messieurs, la bonne fortune de voir quelques-unes des nouvelles expériences faites par M. Kœnig lui-même, qui a bien voulu nous prêter son concours. Auteur de méthodes nouvelles qui rivalisent aujourd'hui avec celles de notre compatriote M. Lissajous, M. Kœnig a déjà beaucoup contribué au progrès de l'acoustique, et nous n'avons pas son dernier mot.

Quand un corps produit un son, ses particules sont agitées ; elles oscillent de part et d'autre d'une position d'équilibre ; on dit que le corps vibre.

Voici une grande plaque de cuivre, posée horizontalement sur de petites colonnes de liége et saupoudrée de sable. Avec l'archet on frotte sa tranche ; on l'écarte donc de sa position horizontale ; dès qu'on ôte l'archet, elle y revient par son élasticité ; puis en vertu de la vitesse acquise ses particules dépassent cette position, y reviennent ensuite et oscillent : un son se fait entendre. Toutes les parties de la plaque ne peuvent pas vibrer de la même manière ; celles qui avoisinent les petites colonnes sont gênées, et par conséquent la plaque oscille en se déformant, en se contournant alternativement dans un sens et dans l'autre ; le sable est agité et se rassemble dans les parties gênées, où il dessine des lignes régulières appelées *lignes nodales*. Cette expérience vous montre que les corps sonores peuvent se diviser en parties qui vibrent en sens contraire. Considérez deux parties séparées par une ligne nodale ; lorsque les particules de l'une s'abaissent, celles de l'autre s'élèvent et vice versâ ; les particules de la ligne nodale restent en repos, ou n'exécutent que de très-petites oscillations. Le mode de division dépend de la forme de la plaque, de la position des points fixes, et de la manière de donner le coup d'archet (fig. 247).

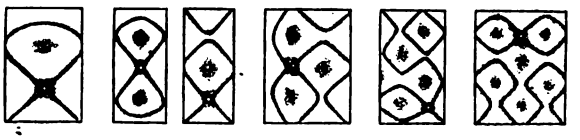


FIG. 247. — Lignes nodales des plaques.

Nous pouvons vous faire suivre de l'œil les déformations que subissent les corps quand ils résonnent, et en voyant avec quelle précision les vibrations sont rendues visib'es, vous comprendrez comment on peut aisément les compter et découvrir les lois qui les régissent. Nous ne sommes plus au temps où il n'était donné qu'au petit nombre de contempler les merveilles de la science, où les beautés de la nature restaient cachées pour la foule, où le cabinet du savant était une sorte de sanctuaire mystérieux. Aujourd'hui, lorsqu'une découverte a été faite, lorsqu'une vérité a été conquise dans le silence du cabinet, elle devient la propriété de tous, et les méthodes expérimentales les plus ingénieuses sont imaginées pour la répandre et la vulgariser. Je n'ai pas besoin de vous dire, messieurs, combien cette vulgarisation est importante ; sans elle l'invention peut rester stérile.

Trois méthodes vont être employées pour rendre visible le mouvement vibratoire d'un corps, et comme il s'agit de voir et non d'entendre, vous n'aurez pas à vous préoccuper du son que peut percevoir votre oreille ; le plus souvent dans nos expériences le son sera très-faible ; nous pourrions le renforcer, si nous voulions faire concourir la sensation acoustique avec la sensation optique. Nous le ferons, lorsque cela sera nécessaire.

1° *Méthode graphique*. — Un diapason est disposé horizonta-

Digitized by Google

lement à côté d'une plaque de verre verticale, recouverte de noir de fumée. Les deux branches du diapason sont dans un plan vertical, parallèle à celui de la lame de verre; l'une d'elles porte une petite pointe métallique, flexible, qui s'appuie sur le noir de fumée. Lorsqu'on ébranle le diapason avec l'archet, cette pointe oscille dans le sens vertical avec la branche du diapason qui la porte, et enlève le noir de fumée, de manière à dessiner un trait vertical. En faisant tomber sur le verre un faisceau lumineux, on projette sur un écran l'image agrandie de ce trait, à l'aide d'une lentille convergente. On fait alors glisser le diapason parallèlement à la lame de verre, et la pointe oscillante râclant le noir de fumée à différentes places, à mesure qu'elle monte ou descend, et qu'elle est entraînée par le diapason, dessine une ligne sinueuse, qui se trouve projetée sur l'écran. Chaque sinuosité représente une vibration du diapason.

2° *Méthode optique de M. Lissajous.* — Un diapason est disposé verticalement, et l'une de ses branches porte un petit miroir vertical, dont le plan est perpendiculaire au plan moyen du diapason. Un rayon de lumière tombe sur ce miroir, est réfléchi et va former sur l'écran une trace circulaire. Mettons le diapason en vibration avec un archet, le miroir oscille dans le sens horizontal et le rayon lumineux réfléchi oscille dans le sens vertical. Sa trace circulaire sur l'écran monte et descend alternativement, et comme l'impression que cette trace produit dans l'œil persiste un certain temps, on voit une bande verticale d'autant plus longue que les vibrations du diapason sont plus étendues. On fait alors tourner le diapason autour de son axe, et à mesure que le miroir se déplace, le rayon réfléchi est entraîné dans le sens horizontal, de sorte que sa trace parcourt l'écran dans le même sens, en montant et descendant alternativement : La bande verticale est donc remplacée par une ligne sinueuse.

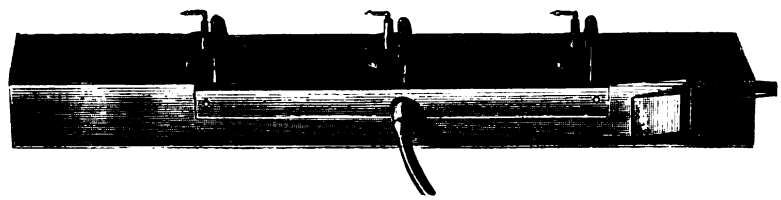


Fig. 248. — Tuyau ouvert à flammes manométriques.

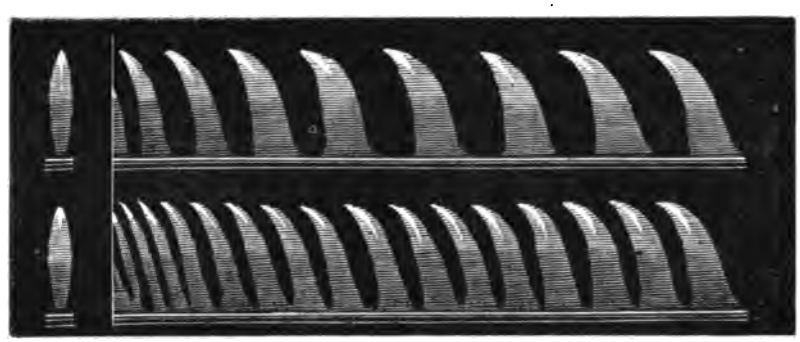


Fig. 249. — Aspect de la flamme vue dans le miroir tournant. La série supérieure représente l'effet produit par la flamme moyenne du tuyau de la figure 2 lorsqu'il rend le son fondamental. La série inférieure représente l'effet d'une des flammes extrêmes, lorsqu'en soufflant plus fort dans le même tuyau, on lui fait rendre le son qui est l'octave du précédent.

3° *Méthode des flammes manométriques de M. Kœnig.* — Un gaz combustible, tel que le gaz à éclairage, vient brûler à l'extrémité d'un bec étroit, après avoir passé dans une capsule en caoutchouc; comme le gaz possède une pression un peu plus grande que la pression atmosphérique, il gonfle légèrement la paroi élastique de la capsule. Si l'on appuie le doigt sur cette paroi, on voit la flamme s'allonger; si l'on applique la capsule sur un corps en vibration, la paroi suit les mouvements de ce corps, et la flamme s'allonge et se raccourcit alternativement, suivant que la capacité de la capsule est diminuée ou augmentée. On peut dire que le mouvement vibratoire est transmis à la flamme, par l'intermédiaire du gaz de la capsule, et que cette flamme, en cédant aux moindres changements de pression survenus dans la capsule, reproduit fidèlement l'état vibratoire du corps sonore. Il reste à rendre bien manifestes les allongements et les raccourcissements alternatifs de la flamme. Pour cela, on peut se contenter de remuer la tête, en regardant la flamme. On voit alors la flamme dans diverses directions, et à cause de la persistance de l'impression sur la rétine, l'apparence est une bande lumineuse continue, si la flamme ne subit aucun changement : si, au contraire, la flamme éprouve des changements périodiques de longueur, la bande présente un bord sinueux; si enfin, la flamme en oscillant se raccourcit assez pour perdre son éclat, l'apparence est une succession de flammes séparées par des intervalles obscurs. Au lieu de remuer la tête, on n'a qu'à regarder la flamme dans un miroir, et à agiter ce miroir; la succession des flammes apparaît alors avec une grande netteté. M. Kœnig, qui a imaginé cette méthode, l'a appliquée aux tuyaux sonores avec un grand succès.

Lorsqu'un tuyau rend un son, l'air qu'il contient est mis en vibration par un jet d'air intermittent. Dans un tuyau à embouchure de flûte, le jet d'air vient se briser contre le bord aminci d'une fente disposée au bout du tuyau, et de ce choc résulte l'intermittence. La colonne d'air qui remplit naturellement le tuyau est donc alternativement comprimée et dilatée, et c'est elle qui résonne. Nous le prouverons en faisant résonner le même tuyau avec divers gaz; si le gaz est réellement le corps sonore, le son devra changer avec sa nature. En effet, j'adapte à un tuyau deux vessies dont l'une contient de l'hydrogène et l'autre de l'acide carbonique; je presse la première, vous entendez un son qui s'élève et devient constant; je presse maintenant la seconde, et le son s'abaisse, puis conserve sa gravité tant que le gaz carbonique remplit le tuyau. Dans le premier cas, l'hydrogène en entrant dans le tuyau en a chassé l'air progressivement, bientôt il le remplissait seul, et c'est alors que le son a cessé de monter. Vous conclurez de là que le son est plus aigu dans l'hydrogène que dans l'air. Dans le second cas, l'acide carbonique a chassé l'hydrogène à son tour, et lorsqu'il est resté seul, vous avez entendu un son grave. Il serait très-facile de constater que ce son est plus grave que si le tuyau ne contenait que de l'air.

Nous allons maintenant rendre manifestes les vibrations de l'air qui résonne dans un tuyau, en employant les capsules manométriques.

Le tuyau est ouvert à ses deux extrémités; à l'extrémité

Digitized by Google

inférieure se trouve l'embouchure, et cette embouchure est disposée sur une soufflerie. Vers le milieu du tuyau se trouve une ouverture, fermée par une capsule manométrique (fig. 248). A côté du bec d'où jaillit la flamme est disposé un miroir vertical, que l'on peut faire tourner autour d'un axe vertical, à l'aide d'une roue d'angle et d'une manivelle. Lorsque le tuyau résonne, on voit dans le miroir tournant une succession de flammes (fig. 249). Nous allons projeter cette apparence, et elle deviendra visible pour un plus grand nombre de personnes à la fois. En remplaçant le gaz à éclairage par le bicarbure d'hydrogène, nous avons une flamme beaucoup plus éclairante. Plaçant ensuite une lentille convergente entre la flamme et le miroir, nous obtenons un faisceau réfléchi, qui donne sur l'écran une image brillante de la flamme. Lorsque le miroir tourne, ce faisceau se déplace dans le sens horizontal et la série des flammes apparaît sur l'écran.

Vous conclurez de cette expérience que l'air contenu dans le tuyau se trouve alternativement comprimé et dilaté en face de la capsule manométrique. Sa pression est transmise à la flamme qui s'allonge ou se raccourcit, de sorte que l'état vibratoire de l'air est fidèlement représenté par l'intermittence de cette flamme. La région du tuyau qui porte la capsule est celle où la compression et la dilatation de l'air sont à leur maximum. Nous pourrions constater en changeant la place de la capsule que les effets décroissent à mesure que l'on considère des régions plus voisines des extrémités. On dit qu'il y a un nœud de vibration vers le milieu du tuyau, et qu'il y a un ventre à chaque extrémité.

Le tuyau dans l'expérience précédente faisait entendre le son fondamental, qui est le plus grave de ceux qu'on peut en tirer. En y faisant arriver un jet d'air plus rapide, on obtient des sons plus aigus et alors la colonne d'air se divise en parties d'égale longueur séparées par des nœuds et des ventres. Par exemple, voici un tuyau de même dimension que le précédent, mais qui est muni de trois capsules manométriques ; en y insufflant un jet d'air convenable, nous déterminerons un ventre à la capsule du milieu et un nœud à chacune des deux autres. Par conséquent, les flammes extrêmes seront fortement agitées, et celle du milieu ne le sera pas. Si elles sont suffisamment courtes, les flammes extrêmes s'éteindront. Faisons-nous rendre au tuyau le son fondamental, qui est plus grave, il y a un nœud à la capsule du milieu seulement, et sa flamme seule s'éteint.

Après avoir reconnu que l'origine du son est la vibration des corps, nous devons rechercher comment cette vibration produit une impression sur notre oreille.

Les couches d'air qui environnent un corps sonore sont alternativement comprimées et dilatées de proche en proche, et elles propagent ainsi le mouvement vibratoire dans toutes les directions. Parmi les organes de notre oreille, il y a une membrane élastique, qu'on appelle le tympan ; elle reçoit ce mouvement, puis par le concours des autres organes la sensation acoustique est déterminée.

Il est très-aisé de rendre manifeste cette communication de mouvement vibratoire du corps sonore aux corps voisins. Voici un timbre que je fais résonner en le frappant avec un marteau. J'en approche un gros tuyau, et le son est considérablement renforcé. Je l'écarte, le son est presque éteint ; je le rapproche de nouveau, et le son devient très-distinct. La masse d'air renfermée dans le tuyau peut donc vibrer comme le timbre, par l'intermédiaire des couches d'air interposées. Pour que le son du tuyau soit le même que celui du timbre, il faut que ses dimensions soient convenables ; elles ont été réglées pour cela.

Voici maintenant un tube de verre vertical, ouvert aux deux bouts, et un tuyau à embouchure de flûte qui sont accordés, de telle sorte qu'ils peuvent rendre le même son par la vibration de l'air qu'ils contiennent. Si l'on fait résonner le tuyau, le mouvement vibratoire est transmis à l'air du tube comme dans l'expérience précédente, et si vous n'entendez pas le renforcement du son c'est qu'il n'est pas assez intense, mais nous allons prouver cette transmission par une très-curieuse expérience, qui a été faite pour la première fois en Allemagne, par M. von Schaffgotsch, en 1857.

Nous entourons de notre tube de verre une petite flamme de gaz, comme dans l'expérience bien connue de l'harmonica chimique. Disposée d'une certaine manière, la flamme pourrait faire résonner le tube ; car à mesure que le gaz vient brûler à l'air, il produit une suite de petites explosions, trop faibles pour être entendues, mais qui mettent en vibration l'air environnant. Si cet état vibratoire de la flamme correspondait à celui que doit prendre l'air du tube pour résonner, il déterminerait le son. Nous évitons en ce moment de faire parler le tube à l'aide de la flamme seule.

Mais à une distance de plusieurs mètres, nous faisons résonner le tuyau à embouchure de flûte. Vous entendez le son et vous voyez la flamme vivement agitée, tandis qu'elle était calme auparavant. Le son excitateur cesse et le tube de verre continue à parler. Le mouvement vibratoire parti du tuyau, a été transmis à l'air continu dans le tube de verre, et il a réglé l'intermittence du jet de gaz. Cette intermittence persiste d'elle-même, et entretient l'état vibratoire de l'air du tube ; voilà pourquoi le son commencé sous l'influence d'une excitation extérieure est ensuite entretenu par la flamme. Dans cette charmante expérience, l'œil et l'oreille nous révèlent la propagation du son ; leurs sensations s'associent pour contribuer à notre jugement.

Quelles sont les qualités qui distinguent les sons les uns des autres ? Il y en a trois : l'*intensité*, la *hauteur* et le *timbre*.

L'*intensité* dépend de l'amplitude des vibrations. Lorsque je frappe un timbre d'un seul coup, le son d'abord très-intense s'affaiblit graduellement, à mesure que le métal rentre au repos. Nous n'avons pas besoin d'insister sur cet effet ; l'étude des deux autres qualités des sons doit appeler toute notre attention.

La *hauteur* d'un son dépend de la rapidité des vibrations. On la mesure en comptant combien il y a de vibrations en une seconde.

Nous faisons tourner une roue qui porte 400 dents sur sa circonférence, et nous présentons à son bord une carte. A chaque tour de roue, la carte est choquée 400 fois, et si la rotation est assez rapide, vous entendez un son. Supposez que la roue fasse un tour en une seconde ; la hauteur de ce son serait de 400 vibrations. On tourne de plus en plus vite, et le son s'élève. Donc, plus il y a de vibrations en une seconde, plus le son est aigu.

On appelle *intervalle* de deux sons le rapport du nombre des vibrations du son le plus aigu à celui du son le plus grave. Lorsque la roue fera deux tours par seconde, il y aura 800 vibrations dans le même temps, et l'intervalle du nouveau son au premier sera 2. Les musiciens ont donné des noms aux principaux intervalles ; celui dont je parle est l'octave.

Digitized by Google

L'appareil des roues dentées, imaginé par Savart, permet de mesurer très-aisément les principaux intervalles. S'agit-il par exemple de la tierce et de la quinte qui sont les intervalles des sons d'un accord parfait ; on dispose sur le même axe trois roues, qui portent : 400, 500 et 600 dents. On les fait tourner avec une vitesse constante, et l'on présente successivement au bord de chacune d'elles une carte. On entend les trois sons de l'accord. Les intervalles sont donc pour la tierce 5 : 4, pour la quinte 6 : 4 = 3 : 2.

La gamme est composée de sept sons, dont les intervalles sont déterminés. L'intervalle du troisième son au premier est la tierce; celui du cinquième au premier est la quinte. On voit par là quelle est l'origine des noms donnés à ces intervalles par les musiciens.

La hauteur des sons usités en musique paraît varier de 16 à 3480 vibrations par seconde. Pour désigner tous ces sons d'une manière commode, on a imaginé une suite de gammes, en prenant pour point de départ, d'après Sauveur, l'*ut* le plus grave de la basse qui est de 65,25 vibrations par seconde, et que l'on désigne par ut_1. On désigne les octaves supérieures par ut_2, ut_3, etc., et les octaves inférieures par ut_{-1}, ut_{-2}, et de même pour les autres sons de la gamme. C'est ainsi que les limites des sons usités sont désignées par ut_{-2} et la_6. Un son quelconque est donc en général compris entre deux termes de l'échelle précédente. En employant les dièzes et les bémols, on augmente encore le nombre des sons qui servent de repères pour tous les autres. Le son du diapason normal, d'après lequel on accorde tous les instruments en France, est la_3 ; il correspond à 435 vibrations par seconde.

Pour construire avec précision l'échelle musicale, il a suffi de mesurer le nombre des vibrations d'un seul son, et les intervalles de tous les autres. Cette recherche a été faite par diverses méthodes devenues classiques. L'emploi des nouvelles méthodes graphique, optique, et de celle des flammes manométriques, permet de reconnaître les intervalles simples sans le secours de l'oreille.

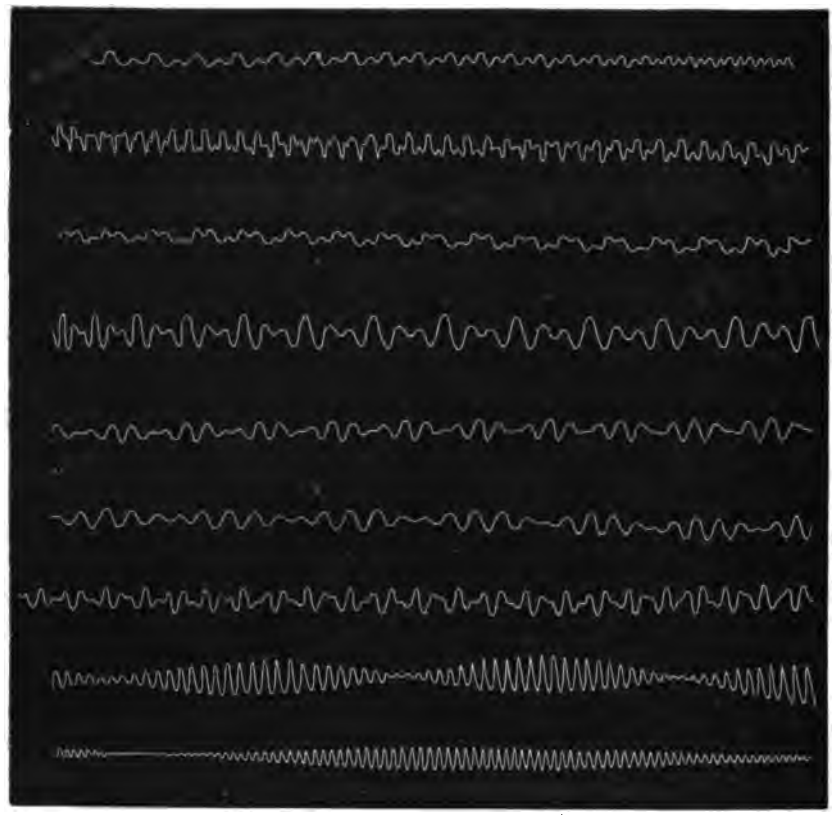


Fig. 250. — Épreuves de la combinaison des vibrations parallèles.

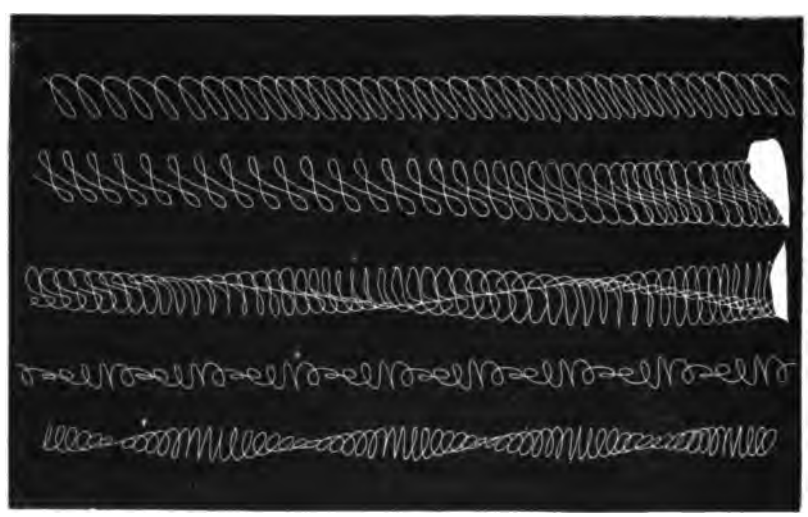


Fig. 251. — Épreuves de la combinaison des vibrations rectangulaires.

Méthode graphique. — Elle repose sur les lois de la combinaison de deux mouvements vibratoires. Nous avons vu le style fixé sur un diapason tracer une ligne sinueuse sur une lame de verre enfumée, maintenue fixe. Supposez que cette lame soit portée par un second diapason; si les deux diapasons vibrent simultanément, la ligne sinueuse présentera une autre forme, qui dépendra de la position relative des diapasons et de l'intervalle des deux sons qui leur correspondent. Lorsque les deux diapasons sont horizontaux, de sorte que le style porté par l'un d'eux et la lame enfumée porté par l'autre vibrent tous les deux verticalement, la ligne sinueuse est le résultat de la combinaison de deux mouvements vibratoires parallèles, et l'on voit sur la figure 250 les formes qu'elle prend pour les principaux intervalles. Par exemple pour l'octave, qui est l'intervalle 2:1, la première ligne montre nettement que l'un des diapasons exécute deux vibrations, tandis que l'autre en exécute une. L'avant-dernière ligne montre aussi clairement que l'intervalle appelé dièze est de 25:24.

Digitized by Google

Lorsque, l'un des diapasons restant horizontal, le second est vertical, de sorte que le style porté par lepremier vibre verticalement, tandis que la lame portée par le second vibre horizontalement, la ligne sinueuse est le résultat de la combinaison de deux mouvements vibratoires rectangulaires. et l'on voit sur la figure 251 les formes qui correspondent aux principaux intervalles. Ces courbes remarquables ont été obtenues pour la première fois par M. Kœnig, et ellesvous donnent un e idée de la précision qu'on sait atteindre dans l'emploi de cette méthode.

Méthode optique. — Un pinceau lumineux horizontal tombe sur le miroir de notre diapason vertical ; il est réfléchi horizontalement et tombe sur le miroir d'un second diapason horizontal, qui le réfléchit vers l'écran, où vous voyez sa trace circulaire. On fait vibrer horizontalement le premier diapason seul, et la trace circulaire est changée en une bande verticale. On fait vibrer verticalement le second diapason seul; la trace devient une bande horizontale. Nous avons donc deux mouvements vibratoires rectangulaires. Si nous faisons vibrer les deux diapasons simultanément, ces deux mouvements vont se combiner, et la trace deviendra une courbe dont la forme dépendra de l'intervalle des deux sons qui correspondent aux diapasons, de l'amplitude des excursions dans le sens vertical et dans le sens horizontal, et enfin de la position qu'occupait le miroir du premier diapason mis en vibration, lorsqu'on a commencé à faibre vibrer le second. Nous opérons avec deux diapasons dont l'intervalle est une octave. La ligne projetée sur l'écran a la forme d'un 8 (fig. 252), parce que le second diapason a été ébranlé par l'archet juste au moment où commençait une oscillation du premier ; de sorte que les deux miroirs passent simultanément par leurs positions moyennes à certaines époques ; mais le miroir du diapason vertical passe une fois par cette position, tandis que l'autre y passe deux fois : nous conclurons que le diapason vertical exécute une vibration, tandis que l'autre en exécute deux.

Si le miroir du diapason vertical avait occupé sa position moyenne, lorsque nous avons commencé à ébranler le diapason horizontal, au lieu de la courbe en forme de 8, nous aurions eu la courbe représentée sur la figure dans la deuxième série horizontale et la troisième série verticale. En donnant le coup d'archet aux diapasons, on ne peut prévoir quelle forme on obtiendra ; mais on n'aura jamais qu'une des formes représentées sur la figure dans la deuxième série horizontale, ou l'une de ces formes tournée d'une demi-révolution. Les trois autres séries de la figure 252 donnent les courbes de l'unisson 1:1, de la quinte 3:2 et de la quarte 4:3. Supposez que nos deux diapasons aient ce dernier intervalle, et qu'ils commencent à vibrer ensemble, nous aurions la première forme de la dernière série horizontale; on voit nettement que le diapason vertical exécuterait 3 vibrations, tandis que le diapason horizontal en exécuterait 4. Il suffit de compter les sommets de la courbe situés sur les côtés du rectangle.

Tout ce qui précède n'a lieu que si l'accord est très-exact. Lorsque les deux diapasons ne présentent qu'approximativement l'un de ces intervalles, la courbe optique passe graduellement par toutes les formes d'une même série horizontale de la figure 252, en se balançant. Ainsi nous chauffons légèrement la branche d'un de nos diapasons ; leur intervalle cesse d'être exactement d'une octave, et vous voyez sur l'écran toutes les formes de la deuxième série se reproduire périodiquement.

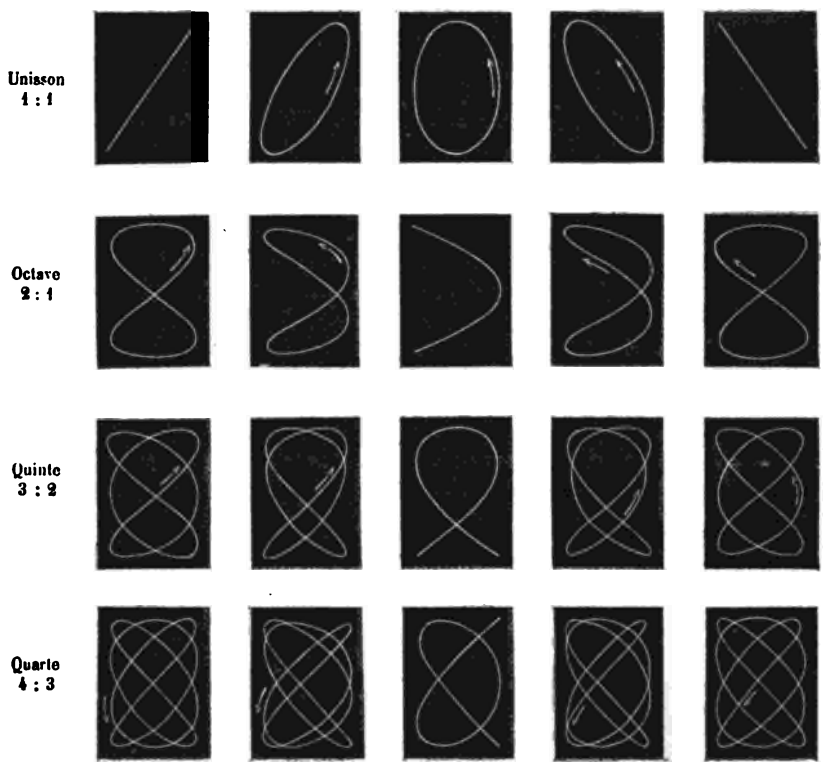


Fig. 252. — Courbes optiques obtenues par la combinaison des vibrations rectangulaires.

Vous comprenez quelle est la sensibilité de cette méthode, lorsqu'il s'agit d'accorder deux diapasons, et comment M. Lissajous en l'imaginant à rendu un véritable service aux arts. C'est par ce procédé que l'on règle aujourd'hui tous les diapasons qui doivent donner le la_3 normal. Il n'y a qu'à associer l'instrument au diapason-type, et à vérifier si la courbe optique est l'une de celles que représente la première série de la figure 252.

Méthode des flammes manométriques. — Elle s'applique particulièrement aux tuyaux sonores. Deux tuyaux à l'octave sont disposés sur le même sommier (fig. 248). Chacun d'eux est muni d'une capsule manométrique, et un miroir tournant placé à côté donne les images des deux petites flammes. Lorsque les deux tuyaux résonnent simultanément, on voit dans le miroir en mouvement deux séries de flammes (fig. 249) telles que deux flammes de l'une correspondent à une flamme de l'autre. L'intervalle appelé octave est donc bien mesuré par le rapport de 2 : 1. On peut faire passer le gaz d'une capsule à l'autre et n'employer qu'une seule flamme ; elle est alors impressionnée par les deux tuyaux à la fois et l'on a dans le miroir tournant une seule série de flammes alternativement

Digitized by Google

grandes et petites (fig. 253). Les grandes flammes sont produites quand l'air en vibration comprime les capsules dans les deux tuyaux simultanément, et les petites flammes, quand, l'air d'un tuyau se dilatant à côté de sa capsule, l'air de l'autre comprime la capsule correspondante. Il est clair que ce dernier tuyau opère deux fois la compression, tandis que l'autre ne l'opère qu'une fois.

En prenant le bicarbure d'hydrogène comme gaz combustible et interposant une lentille convergente entre la flamme et le miroir, nous projetons cette suite de flammes inégales.

Deux tuyaux à la tierce, disposés comme les précédents, donnent une série composée de 5 flammes inégales (figure 254), c'est l'intervalle 5 : 4.

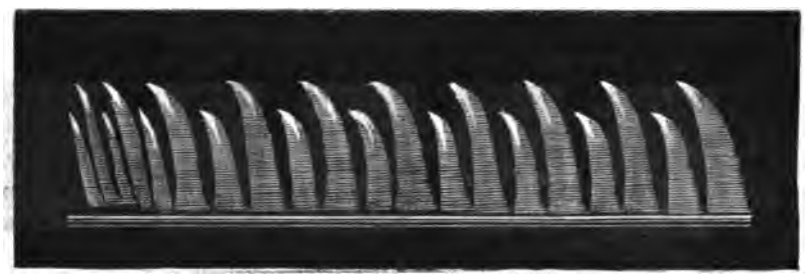


FIG. 253. — Images vues dans le miroir tournant lorsque deux tuyaux donnant l'octave agissent simultanément sur la même flamme manométrique.

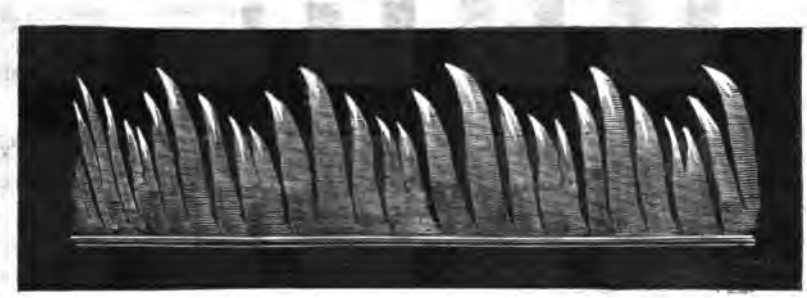


FIG. 254. — Images vues dans le miroir tournant lorsque deux tuyaux donnant la tierce agissent simultanément sur la même flamme manométrique.

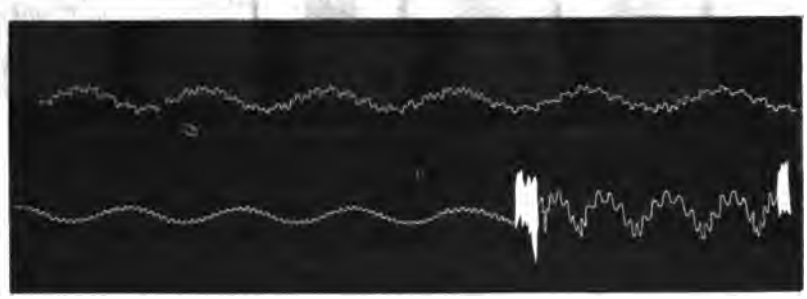


FIG. 255. — Tracés graphiques obtenus avec un diapason laissant entendre un son composé.

Il nous reste à étudier la troisième qualité d'un son, le *timbre*. C'est elle qui nous permet de distinguer le même son, rendu par divers instruments. De quelles circonstances dépend-elle? Quelles sont ses lois? Ce sont les travaux de M. Helmholtz qui nous l'ont appris, et avant lui on ne savait à peu près rien sur cette question. Aujourd'hui elle est résolue, et la théorie de M. Helmholtz doit être vulgarisée et entrer dans l'enseignement. J'essayerai, messieurs, de vous en donner une idée, en m'appuyant sur quelques expériences que M. Kœnig voudra bien nous faire. C'est à lui que revient le mérite d'avoir créé de magnifiques appareils à l'aide desquels on pourra répandre la nouvelle théorie. Nous avons vu quels étaient les effets de l'amplitude et de la rapidité des vibrations; il ne reste qu'à considérer ce qu'on peut appeler, dans un langage figuré, la forme du mouvement vibratoire. Le diapason qui vibrait dans notre première expérience a tracé sur l'écran une ligne sinueuse simple. Le son qu'il rendait alors était un son simple, mais en l'ébranlant avec l'archet d'une certaine manière, nous aurions pu obtenir une ligne sinueuse plus compliquée, indiquant un mouvement vibratoire complexe, comme si des vibrations de divers ordres étaient superposées (fig. 255). Le diapason eût été dans le cas de la plaque sonore, qui nous a donné les lignes nodales. Il se serait divisé en plusieurs parties vibrant séparément, indépendamment de la vibration principale. Si les vibrations de ces parties existaient seules, nous aurions un son plus aigu que celui qui correspond à la vibration principale supposée seule. La coexistence des deux modes de vibration engendre donc un son composé, vous pouvez concevoir un tel son formé d'un grand nombre de sons simultanés, rendus par un même corps sonore, et parmi lesquels le son le plus grave, qui correspond à la vibration principale, domine parce qu'il est plus intense : on l'appelle le son fondamental. Les cordes surtout se subdivisent avec la plus grande facilité, et suivant une loi très-simple. Les subdivisions sont toujours d'égales longueurs, et les nombres de vibrations secondaires sont des multiples exactes du nombre des vibrations principales; de sorte que les intervalles des sons supérieurs au son fondamental sont toujours les nombres entiers 1, 2, 3, 4, etc. On appelle ces sons les *harmoniques* du son fondamental.

Nous vous rendrons témoins de cette curieuse division des cordes. Un simple fil est tendu à l'extrémité d'un diapason et l'on projette son image sur l'écran; vous la voyez rectiligne. On fait vibrer le diapason avec l'archet, et voici l'image qui paraît osciller, en dessinant une figure très-régulière, dans laquelle on remarque des étranglements équidistants, où le mouvement vibratoire est très-faible, et des renflements qui marquent l'excursion des parties vibrantes.

Tous les sons composés ne sont pas formés par les harmoniques du son fondamental. C'est ce qui arrive, quand on frappe une cloche; dans ce cas l'oreille distingue aisément les sons divers qui sont simplement mêlés. Ce genre de sons n'est point harmonieux; il est désagréable; il n'y a pas de loi générale à découvrir dans un semblable mélange. Il n'en est pas de même d'un son composé où il n'entre que les harmoniques du son fondamental : celui-là est le vrai son musical, et c'est lui qui présente cette troisième qualité que nous appelons le *timbre*. L'oreille en effet ne peut plus distinguer les sons composants; tous ces sons se fondent en quelque sorte

Digitized by Google

entre eux, forment comme un assaisonnement du son fondamental, en lui donnant un caractère tout particulier qui varie avec l'instrument.

Nous démontrerons par la synthèse et par l'analyse que le timbre d'un son musical dépend du nombre des harmoniques qui accompagnent le son fondamental et de leur intensité relative.

Et d'abord par synthèse. — Voici quatre diapasons montés sur des caisses accordées de manière à renforcer leurs sons fondamentaux. La masse de chacun de ces diapasons est assez grande pour que le son qu'on en tire en les ébranlant convenablement soit simple. Leurs sons s'appellent ut_2, ut_3, sol_3, ut_4, ils forment une série harmonique. On fait vibrer le premier; puis successivement les trois autres; votre oreille entend toujours ut_2, mais avec un timbre particulier ; le son paraît plus harmonieux. Voulez-vous savoir ce qui ajoute cette qualité au son fondamental ut_2. On arrête avec la main le diapason qui donne ce son, et vous entendez le son composé des trois autres qui formait l'assaisonnement. Remettons en mouvement les quatre diapasons à la fois, et faisons vibrer encore un cinquième diapason qui donne mi_3. Ce son n'est pas dans la série harmonique ; il ne se fond plus avec les autres et vous le distinguez nettement dans le mélange. C'est l'accord des sons ut_2, mi_3, que vous entendez.

Maintenant nous prenons une corde métallique tendue sur une caisse d'harmonie. En l'ébranlant convenablement, nous ferons entendre le son fondamental mêlé avec ses harmoniques. Mais nous pouvons, en variant le mode d'ébranlement, augmenter l'intensité de tel ou tel de ces harmoniques, et alors nous changerons le timbre de ce son fondamental. Par exemple on va faire prédominer les harmoniques les plus élevés, et le timbre ressemblera à celui de la même note rendue par la trompette.

Ainsi nous venons de composer le timbre, d'en faire la synthèse ; pour compléter la démonstration, il nous reste à en faire l'analyse, à montrer dans un son musical composé l'existence des harmoniques de ce son.

Le principe de la méthode de M. Helmholtz repose sur la propriété que possède une masse d'air donnée de résonner quand on lui communique le mouvement vibratoire qui correspond à un son déterminé. M. Kœnig, partant de ce principe, a construit un très-bel appareil à flammes (fig. 256), avec lequel les expériences deviennent très-faciles. L'appareil de M. Kœnig se compose d'une série de boules creuses de cuivre appelées résonnateurs, munies de deux ouvertures ; la plus grande est sur le devant de l'appareil ; la plus petite est par derrière et porte un tube de caoutchouc, qui établit une communication avec une capsule manométrique. Chaque résonnateur agit donc sur une flamme distincte, de sorte que l'aspect de cette flamme nous indique si l'air du résonnateur est en repos ou en vibration. En regardant la série des flammes dans un miroir tournant, on voit nettement les intermittences de celles qui vibrent.

Les résonnateurs sont accordés pour les sons qui forment la série harmonique ut_2, ut_3, sol_3, ut_4, mi_4, sol_4, etc. On fait vibrer un diapason qui donne sol_3, par exemple, et l'on promène ce diapason le long de l'appareil.

Dès qu'il passe devant le troisième résonnateur, vous entendez le son renforcé, et vous voyez la troisième flamme agitée ; ses intermittences sont visibles dans le miroir tournant.

On fait maintenant entendre un son formé des harmoniques partant de sol_3. Vous voyez toutes les flammes vibrer au-dessus de la troisième. Si l'on composait un son de sol_3, mi_4, ut_5, vous verriez en mouvement les flammes 3, 5, 8. Il est aisé de comprendre comment avec cet appareil on peut étudier

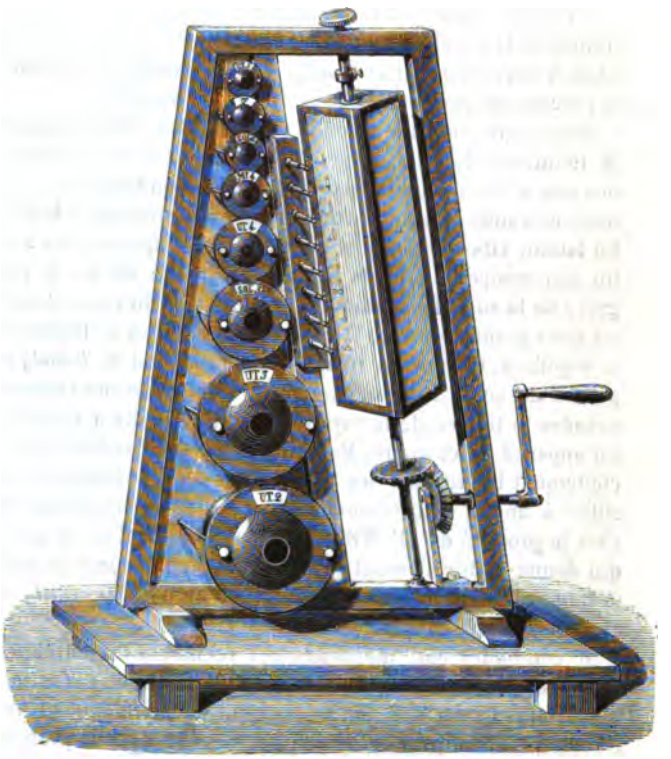


Fig. 256. — Appareil de M. Kœnig, pour l'analyse du timbre des sons.

le timbre d'un instrument de musique. Il suffit de produire l'un des sons de la série pour laquelle l'appareil a été construit, et d'observer les flammes dans le miroir tournant ; celles qui présentent l'intermittence font connaître les harmoniques qui composent le son donné ; on peut même apprécier leur intensité.

Une des plus remarquables découvertes de M. Helmholtz consiste dans la composition du timbre des voyelles.

Prenez un diapason qui donne *si bémol*$_4$, et tenez-le à la main devant votre bouche ; le son est très-faible et vous l'entendez à peine. Prononcez une des voyelles A, E, I, O, U à voix basse, et le diapason ne s'entend pas davantage. Mais prononcez de même la voyelle A, et le son *si bémol*$_4$ devient très-distinct. Évidemment il est renforcé par la résonnance de l'air contenu dans votre bouche. Vous pouvez prononcer un A grave ou un A aigu, et l'effet est exactement le même. Le résultat ne changera pas si l'expérience est faite par une autre personne, quel que soit le sexe et l'âge. Quelle est l'explication de ce singulier phénomène ?

Lorsqu'on prononce la voyelle A, le larynx émet un son composé d'harmoniques : le son fondamental peut changer et c'est lui qui détermine la hauteur ; mais la bouche se dispose toujours de manière à renforcer le terme de la série harmonique partie de ce son, qui est le plus voisin de *si bémol*$_4$: elle constitue un résonnateur accordé pour cette note, et c'est la résonnance de l'air qu'elle contient alors qui donne au son le timbre de la voyelle A. La vibration des cordes vocales

Digitized by Google

dans le larynx donne la hauteur ; la résonnance de la bouche donne le timbre. La grandeur de la bouche n'influe pas, parce que sa résonnance dépend à la fois de l'écartement des lèvres, et du volume d'air qu'elle contient : en diminuant l'ouverture et le volume d'un résonnateur on peut lui conserver la même résonnance.

A chaque voyelle correspond une note spécifique. Ainsi le timbre de O est obtenu quand la bouche est disposée de manière à faire résonner *si bémol*$_3$. Une expérience semblable à la précédente peut être faite pour chaque voyelle.

Nous trouverons une seconde démonstration du principe de M. Helmholtz dans la synthèse artificielle des voyelles. Imaginez une série de diapasons dont les sons fondamentaux forment une suite de sons harmoniques, qui comprend *si bémol*$_4$. En faisant vibrer simultanément tous ces diapasons, on aura un son composé, dont la hauteur sera celle du son le plus grave de la suite harmonique : si l'intensité du son *si bémol*$_4$ est assez grande pour qu'il prédomine, on aura le timbre de la voyelle A. Comme la même suite renferme *si bémol*$_3$ on pourra au contraire renforcer cette note, et le son composé prendra le timbre de la voyelle O. M. Helmholtz a construit un appareil de ce genre. Mais nous pouvons produire artificiellement les voyelles les plus simples, en surmontant un sifflet à anche d'un résonnateur accordé convenablement : c'est le procédé de M. Willis. Voici un appareil de ce genre qui donne naturellement la voyelle A : en plaçant la main devant le résonnateur on peut l'accorder pour *si bémol*$_3$ et alors il entend la voyelle O.

Ne confondez pas, messieurs, ces recherches scientifiques avec l'imitation de la voix humaine. Les consonnes résultent de certains bruits dus au mouvement de la langue et des lèvres, ils accompagnent le son des voyelles dans la prononciation des mots. On a cherché à imiter ces bruits à l'aide de membranes et l'on est parvenu à faire entendre les mots papa, maman, assez grossièrement. Mais ici il ne s'agit que du son musical : vous avez vu quel degré de perfection ont atteint les nouvelles méthodes d'observation. Étudier la nature, chercher à connaître les lois qui la régissent, voilà le rôle de l'homme ; il ne lui est pas donné de reproduire les œuvres du Créateur avec leur perfection infinie.

A. CAZIN.

HOPITAL BEAUJON.

PATHOLOGIE EXPÉRIMENTALE.

COURS DE M. G. SÉE.

De l'alimentation.

§ 1. — DE L'ALIMENT ET DES PRINCIPES ALIMENTAIRES ; LEUR ORIGINE ET LEUR TRANSFORMATION.

L'aliment, et je prends pour exemple la chair musculaire, est ordinairement un mélange de substances organiques et minérales dont la plupart sont utiles, mais dont quelques-unes sont impropres à la nutrition. Le principe alimentaire, au contraire, est utilisé entièrement pour la reconstitution des parties de l'organisme qui se détruisent par l'oxydation. Or, l'économie se compose de deux groupes de matières organiques et de certains corps inorganiques qui sont d'une importance moindre dans la composition des tissus. Les matières organiques, c'est-à-dire les albuminates et les hydrocarbures (graisses, fécules, sucres) subissent tous, dans l'économie, soit des combustions, soit des dédoublements isomériques ; lorsque l'oxydation est complète, il en résulte de l'eau, de l'acide carbonique, qui s'éliminent principalement par le poumon et la peau ; si la décomposition s'arrête à un degré intermédiaire, il se forme, aux dépens des albuminates, de la leucine et tyrosine, de la créatine, de l'acide urique et enfin de l'urée, qui est le produit le plus oxydé de cette série chimique. — Pour remplacer les éléments constituants qui ont subi ces diverses métamorphoses complètes ou imparfaites, l'organisme ne saurait utiliser que des composés qui puissent :

1° S'assimiler par le sang, soit directement, soit après avoir subi l'action des sucs digestifs ;

2° Se modifier par l'élément comburant de l'organisme, c'est-à-dire par l'oxygène ;

3° Servir à la reconstitution des tissus comburés ou éliminés en nature.

Ces caractères se retrouvent le plus sûrement dans les substances qui concordent chimiquement avec les principes constituants du sang ou des organes ; mais cela ne suffit pas, car si ces corps sont déjà oxydés comme l'urée, ils ne peuvent plus remplir aucun but. Les éléments chimiques primordiaux, comme l'azote, le carbone, le chlore, le soufre, qui font cependant partie intégrante de tous les parenchymes et liquides, ne sont pas plus aptes que les substances oxydées à couvrir les pertes ; à l'état d'isolement, les corps simples ne sauraient ni entrer, ni rester dans le sang, sans en altérer la texture, sans en compromettre la composition, et quand même ils seraient absorbés, ils n'en seraient pas moins incapables de refaire la synthèse des principes constituants de l'organisme. L'oxygène seul fait exception, mais par son action comburante il se distingue de l'aliment qui est destiné à la combustion.

Cependant Magendie, se plaçant à un point de vue exclusivement chimique, catégorise les aliments en azotés et non azotés ; le rôle de l'azote dans la nutrition est d'autant plus facile à apprécier que la réparation des éléments organiques ne saurait avoir lieu sans son intervention directe ou indirecte, mais il n'est pas possible d'estimer un composé alimentaire par sa richesse en azote, et sa présence ne suffit même pas pour constituer une qualité nutritive.

Aliments organiques azotés. — Parmi les aliments azotés, il faut compter les albuminates de l'œuf, du suc des muscles, la plasmine et l'hémato-globuline du sang, la caséine du lait, la gélatine des divers tissus épidermiques ; la plupart proviennent du règne animal ; mais qu'on ne s'y trompe pas, ce n'est pas là leur origine unique. L'albumine se retrouve dans divers végétaux, dans les graines émulsives, les fruits des légumineuses. La caséine végétale existe dans ces mêmes fruits et les graines oléagineuses. Dans les graines des graminées, il y a une substance très-azotée, appelée gluten, avec ou sans mucilage. Ainsi les aliments des deux règnes présentent, au point de vue de leur composition, une analogie complète ; nous venons de le prouver pour les principes azotés ; il n'y a, à cet égard, entre eux que des différences de quantités. Quant aux autres principes, ces nuances s'effacent plus encore.

Aliments organiques non azotés. — Les aliments organiques non azotés, c'est-à-dire les matières amylacées, saccharines et graisseuses, se retrouvent également dans les deux règnes. L'amidon forme la base des graines de graminées, des légu-

Digitized by Google

mineuses, de la pomme de terre; le sucre existe dans la séve et les fruits d'un grand nombre de plantes, mais se rencontre également sous une forme spéciale dans le lait. Les autres hydrocarbures, la gomme, la cellulose, ne paraissent jouir d'aucune propriété nutritive; ainsi leur nombre est aussi restreint que leur rôle est important dans l'alimentation; il y a plus, les substances amylacées subissent dans le tube digestif une transformation presque complète en sucre de raisin, de sorte qu'à vrai dire, il n'y a, dans les deux premiers groupes d'hydrocarbures, que la glycose qui soit directement nutritive.

Les corps gras, quelle qu'en soit la provenance, pénètrent ordinairement dans l'économie sous leur état primitif, c'est-à-dire sous forme d'oléine, de palmitine et de stéarine; toutefois d'autres graisses, ainsi la butyrine, la caprine, provenant du beurre, les graisses propres à certaines plantes et graines oléagineuses peuvent également être utilisées comme principes alimentaires.

Devant cette similitude parfaite, il est inutile de tenir un compte absolu de cette distinction radicale qu'on a établie entre les deux genres de régimes animal et végétal; il suffit de savoir que rien ne peut remplacer les corps albuminoïdes; mais cette proposition une fois admise, il en découle deux conséquences des plus importantes au point de vue de l'alimentation : toutes les matières albuminoïdes peuvent être substituées l'une à l'autre, pourvu qu'elles n'aient pas subi une oxydation préalable; ainsi l'albumine, la fibrine, la caséine, produisent le même effet.

Une autre conséquence est celle-ci : que ces substances proviennent du règne végétal ou animal, il importe peu; chez les herbivores, l'alimentation protéique tire son origine des plantes, mais s'adapte aux tissus de l'animal tout aussi facilement que la chair musculaire se fixe dans la trame des carnivores. Chez l'homme, que l'azote provienne de la viande ou du lait, qu'il soit fourni par les légumineuses ou les céréales, le résultat sera identique, si les quantités d'azote, relativement à l'oxygène, sont les mêmes. Il n'y a donc plus à s'émerveiller des effets du régime végétal; les progrès accomplis par l'analyse chimique nous expliquent comment la vie peut se maintenir par l'usage exclusif de certaines substances végétales; l'austérité de certains ordres monastiques n'est plus un problème pour la science.

§ 2. — Combustion et fixation des aliments.

Les matières organiques (albumine, graisses, sucres) ne s'adaptent à l'économie et ne remplissent leurs usages respectifs qu'en subissant des métamorphoses en rapport avec leur constitution atomique. Toutes les substances alimentaires comprennent au moins trois éléments primitifs, le carbone, l'hydrogène, l'oxygène; les composés protéiques, renfermant un élément de plus, l'azote, forment les substances quaternaires; celles-ci, plus que les corps ternaires, se dissocient d'une manière incomplète; elles ne se consument pas entièrement, et l'azote ne s'en dégage point sous la forme gazeuse; aussi, son exhalation par le poumon n'augmente jamais, du moins d'une façon appréciable, sous l'influence du régime protéique; l'azote a son principal émonctoire par les reins, et s'élimine avec les urines sous forme d'urée; c'est là le produit d'oxydation le plus avancé que fournisse la combustion des matières albuminoïdes; c'est en urée qu'elles se transforment presque en totalité. Tout ce qui des albuminates n'aboutit pas à ce produit ultime, forme de l'acide urique, de la créatine, de la leucine ou tyrosine; ces dérivés de l'albumine sont tous plus oxydables que l'urée, car l'acide urique, en subissant une nouvelle oxydation, fournit de l'urée, plus de l'acide oxalique; la créatine, en s'oxydant, donne lieu également au développement de l'urée, plus de la sarcosine; l'urée est donc le principal déchet azoté des albuminates, et cela est si vrai qu'il peut servir de mesure à la combustion des matières protéiques. On peut juger du degré d'avancement de l'oxydation de ces divers produits, en étudiant ce qui reste d'oxygène relativement au carbone; pour un équivalent d'oxygène, l'albumine contient 3 3/4 équivalents de carbone, la créatine 2, l'acide urique 1 1/2 et l'urée 1 équivalent de carbone.

Pour ce qui est du carbone lui-même et de l'hydrogène, ils sont éliminés par l'intestin, sous forme de matières biliaires, ou bien, en tant qu'acides gras et volatiles, par la sueur, ou bien enfin en acide carbonique et en eau, par le poumon. Quant au soufre, qui fait également partie de ces matières organiques, il se métamorphose en sulfate alcalin, qui passe par les urines, et en taurine, qui constitue le copule de l'acide taurocholique de la bile.

Le sucre n'entre dans la contexture des tissus que pour une part secondaire, excepté pendant la période intra-utérine; qu'il provienne du dehors ou du foie, il passe dans la veine hépatique, se consume imparfaitement par l'oxygène des globules, en se transformant en CO^2 et en eau; après l'extirpation du foie, la proportion d'acide carbonique extirpé diminue en effet de la manière la plus manifeste (Moleschott).

Les matières amylacées s'oxydent de la même façon que les diverses espèces de sucres. Les matières grasses enfin subissent le même sort; si une fraction s'élimine par les excréments sous forme de glycéralés, la majeure partie est brûlée, transformée en acide carbonique et en eau, qui s'exhalent par les voies pulmonaires.

§ 3. — Du pouvoir plastique et thermogène des aliments.

L'étude des aliments, d'après leur composition chimique, en était arrivée au point qu'on croyait pouvoir estimer la valeur d'un principe alimentaire d'après sa richesse en azote; les substances privées d'azote étaient pour ainsi dire déclassées, lorsque Liebig établit entre les aliments une distinction fondée sur leurs divers usages; une première classe d'aliments est destinée à la réparation et au développement des organes de l'économie; c'est le propre des matières albuminoïdes, qui pour ce motif doivent prendre le nom d'aliments plastiques. Une deuxième classe est formée par les matières grasses amyloïdes et sucrées qui, à l'aide de l'agent comburant, c'est-à-dire de l'oxygène, servent à faire les frais de la combustion organique et de la calorification; c'est pourquoi ils sont désignés généralement sous le nom d'aliments respiratoires.

Quelque ingénieuse et plausible que soit cette dichotomie, elle ne saurait cependant s'appliquer d'une manière absolue; en effet, les aliments dits plastiques contribuent largement au développement de la chaleur par leur transformation en urée, acide urique, créatine. Berthelot a prouvé que les oxydations, même incomplètes, et que les dédoublements isomériques produisent souvent autant de calorique que les combustions les plus complètes. Il y a plus, ces aliments plastiques peu-

Digitized by Google

vent se métamorphoser en sucre et devenir ainsi un aliment respiratoire. Lorsqu'on nourrit un animal exclusivement avec la fibrine, on retrouve dans le foie de la matière glycogène, qui n'a pu se former qu'aux dépens de la substance protéique (Claude Bernard, Lehmann).

Enfin, les parenchymes eux-mêmes et tous les éléments organiques peuvent, sous l'influence des causes morbides, subir une dégénérescence ou une infiltration graisseuse. Cet état régressif n'est souvent que l'exagération de l'état physiologique; la graisse, en effet, se retrouve dans tous les organes, dans toutes les cellules glandulaires, musculaires ou nerveuses, mais surtout dans le tissu connectif; une certaine quantité des aliments respiratoires, c'est-à-dire graisseux, amyloïdes ou saccharins, se dépose dans la trame organique, soit en nature, soit après avoir subi la transformation adipeuse; la graisse surtout fait partie constituante de nos organes au même titre que les corps albuminoïdes; elle contribue à la contexture, à l'organisation des tissus, et en même temps elle sert de réserve alimentaire. Lorsque l'organisme est privé de nourriture, ou ne reçoit qu'une alimentation insuffisante, il brûle d'abord la graisse de réserve, puis le sang et les parenchymes, de telle sorte que les substances qui avaient fait partie intégrante de sa trame organique fournissent des matériaux à l'oxygène absorbé et deviennent ainsi des aliments respiratoires. Or, parmi ces substances, un certain nombre, selon la judicieuse remarque de Longet, appartient à la classe des aliments plastiques, qui vont désormais jouer un rôle absolument inverse : la loi de Liebig se trouve donc en défaut, par cela même qu'un aliment plastique peut se transformer en principe combustible. La proposition inverse n'est pas moins vraie, puisque les aliments thermogènes, comme la graisse et le sucre, se retrouvent dans la composition de nos tissus.

Au résumé, cette doctrine est en opposition jusqu'à un certain point avec les faits d'observation; mais de plus, elle est en contradiction avec les lois de la transmutation des forces appelées calorique, mouvement, telle que nous l'enseigne la physique appliquée à la physiologie. Dans l'état actuel de la science, on ne peut plus admettre que certains aliments soient destinés exclusivement à la formation de la chaleur, car la calorification n'est pas un but; elle n'est qu'un résultat des métamorphoses chimiques, quelles qu'elles soient, qui s'opèrent dans l'organisme; la chaleur peut se former aux dépens des substances azotées aussi bien que des corps ternaires; elle peut se développer par la simple hydratation des organes (Berthelot); elle peut résulter de la transformation du mouvement en chaleur, ainsi que nous le démontrerons par la suite; les aliments dits thermogènes n'ont donc aucun privilége spécial, et la théorie de Liebig n'a rien d'absolument vrai.

§ 4. — Appréciation du pouvoir nutritif des aliments.

La manière d'estimer la valeur nutritive des aliments repose sur des données très-diverses; le plus souvent on s'est contenté de déterminer la composition élémentaire des aliments, c'est-à-dire leur richesse en carbone et en azote; d'autres procédés consistent à préciser non-seulement les quantités absolues des éléments, mais leur rapport avec l'oxygène; c'est là un véritable progrès; enfin, le dernier moyen d'appréciation, plus pratique quoique moins correct, au lieu de pénétrer dans la constitution atomique de l'aliment, se borne à calculer la quantité respective de principes alimentaires, comme la graisse, l'eau, l'albumine, etc.

Connaître la proportion d'azote ou de carbone que renferment les aliments, ne permet pas de leur assigner leur véritable rang hiérarchique; cette notion ne résout qu'une partie de la question; en effet, les divers composés azotés qui peuvent se rencontrer dans un aliment végétal ou animal ne sauraient être tous également utilisés dans le travail nutritif; que l'on compare la viande, le thé, le café, le pain, qui contiennent tous des principes azotifères, ou bien encore que l'on mette en parallèle ces principes eux-mêmes, ainsi la syntonine, la théine, la caféine, le gluten, on constatera dans tous les cas les différences les plus marquées; c'est qu'en effet l'azote doit être, relativement à l'oxygène, dans des proportions telles que le composé immédiat soit accessible encore à l'oxydation: le principe le plus azoté et le moins oxydé doit donc être le plus apte à la réparation de nos tissus. A ce titre, la fibrine et l'albumine tiennent le premier rang; au contraire l'urée, qui est un produit entièrement oxydé, ne peut plus servir à l'alimentation, bien qu'il renferme près de 46 pour 100 d'azote.

La gélatine, qui contient un chiffre assez élevé d'azote, ne possède cependant que des qualités alimentaires très-douteuses; de tous les composés azotés, c'est celui qui a été le plus discuté. La question fut soulevée par Darcet, à l'occasion des soupes dites économiques préparées avec la gélatine des os de boucherie. Donné et Magendie dénièrent toute propriété alibile à cette substance; cependant, les recherches de William Edwards et Balzac ne la condamnèrent pas d'une manière aussi absolue; en effet, les expériences récentes de Bischof et Voït ne permettent pas de mettre en doute que la gélatine ne puisse tenir lieu d'une portion de la matière azotée nécessaire à la nutrition. Un chien de 33 kilogrammes, qui mange 200 grammes de viande et 100 grammes de gélatine, perd journellement 134 grammes de son poids; quand la ration de gélatine est portée à 200 grammes, les déperditions se réduisent à 77 grammes; ainsi, cette substance a une utilité relative incontestable, mais elle ne saurait subvenir aux frais de la reconstitution organique; il faudrait des quantités bien supérieures à celles que l'appareil digestif peut supporter.

Nous venons d'apprécier la valeur plastique des principaux groupes d'aliments; il s'agit maintenant de déterminer leur pouvoir calorifique. D'une manière générale, on peut dire qu'il dépend également de leur degré d'oxydabilité; or, celle-ci ne résulte pas de la quantité de carbone et d'oxygène, mais du rapport de ces éléments avec l'oxygène.

Le carbone et l'hydrogène, pour se transformer en acide carbonique et eau, exigent d'autant plus d'oxygène que le composé alimentaire en contenait moins; la pauvreté en oxygène et la richesse en hydrocarbone constituent la meilleure condition thermogène d'un aliment.

Sous ce rapport, on peut établir la hiérarchie suivante : d'abord les graisses, puis les substances albumineuses et musculaires, et en troisième lieu les matières amylacées et saccharines. Les graisses qui sont riches en carbone et hydrogène et pauvres en oxygène (79C, 11H, 10O), exigent 292 parties d'oxygène pour brûler 100 parties de graisse. Les matières protéiques qui sont un peu plus oxygénées (47C, 5H, 130 et 35N), n'usent que 153 parties d'oxygène pour oxyder les trois autres éléments; enfin, les matières amylacées qui renfer-

Digitized by Google

ment moitié oxygène (44C, 6H et 50O), ne consument que 118 parties d'oxygène pour 100. La valeur des hydrocarbures comme combustible alimentaire semble donc être en raison inverse de leur quantité d'oxygène. Si l'oxygène prédomine, on doit supposer qu'il satisfait toutes les affinités du carbone; la portion de carbone qui reste disponible pour entrer dans des combinaisons nouvelle, sera seule douée de puissance calorifique. D'une autre part, dans ce calcul, il ne faut pas tenir un compte exclusif du carbone, l'hydrogène joue un rôle plus marqué, car sa combustion produit plus de calories. Ainsi, le sucre de lait et la stéarine renferment à peu près la même quantité d'hydrogène, par rapport au carbone; mais dans le sucre de lait il existe autant d'équivalents d'oxygène qu'il y a d'équivalents d'hydrogène, et par conséquent cette substance n'est combustible qu'en raison de son carbone; dans la stéarine, au contraire, on trouve pour chaque partie d'oxygène 9 parties d'hydrogène; la stéarine est donc supérieure comme aliment thermogène. Ainsi, ces aliments n'ont pas de valeur absolue ni par la quantité d'azote, ni par la quantité de carbone; leur puissance réside surtout dans les proportions de ces corps simples, relativement à l'oxygène.

Cependant, les analyses les plus minutieuses ne nous apprennent rien de ce rapport; ainsi nous savons que les viandes et le blanc d'œuf contiennent environ 13 d'azote, pour 100 parties de matières sèches, que la chair de certains poissons est pourvue de la même quantité à peu près, que les divers fromages ne renferment que 5 à 6, et le lait 1,5 pour 100 (Schlossberger et Kemp.); mais cette notion si importante ne suffit pas pour donner une idée de la force biochimique de ces divers aliments, parce qu'elle ne donne pas la corrélation exacte de l'azote, du carbone, de l'hydrogène avec l'oxygène.

A défaut de ces analyses proportionnelles, il faut tenir compte du mode d'association des matières albumineuses, graisseuses, sucrées de chaque aliment. Liebig, fidèle à sa doctrine, classe sous un seul chef toutes les matières non azotées, pour les opposer aux substances dites plastiques des aliments; en supposant que celles-ci soient représentées par 1, on trouve que certaines viandes, comme le gibier, contiennent à peine 1 à 2/10 de principes ternaires, que les viandes de boucherie en renferment 1,7 à 3, les légumes secs environ 2, le lait 3 à 4, les farines 4,6 à 5,7; enfin, les pommes de terre et le riz ont 11 à 12 parties de substances non azotées pour une partie de principes plastiques. Mais il me semble plus rationnel de dire avec Payen et Moleschott, que 100 grammes de viande des mammifères contiennent 73 parties d'eau, 17,4 d'albuminates, 2 à 3,7 de graisse, le reste étant formé par les matières extractives, les déchets et les sels; que la chair des oiseaux est moins riche en graisse; que celle des poissons ne contient au contraire que 13,7 d'albuminates avec 4,6 de graisse, et qu'enfin dans le lait il y a proportions à peu près égales de matières protéiques (3,9), de graisse (4,9) et de sucre (4,3) : c'est donc le lait qui constitue une alimentation complète dans le sens chimique du mot (Prout).

§ 5. — De l'usage des substances inorganiques et principalement des matières salines.

L'aliment organique, quel qu'il soit, ne suffit pas à la reconstitution ni à la conservation des tissus et liquides animaux; car il entre dans leur composition une quantité considérable d'eau et de sels minéraux, particulièrement du chlorure de sodium et des phosphates. L'importance physiologique du sel est rendue manifeste par sa présence dans le sérum du sang et dans plusieurs liquides de l'économie; mais la plus grande partie traverse rapidement l'organisme et s'élimine par les urines; aussi la proportion de sel marin qui existe dans les aliments est, en général, insuffisante pour reconstituer nos organes, stimuler les fonctions digestives, activer la nutrition. Boussingault a prouvé, en effet, par les expériences les plus précises, que le sel ne possède, par lui-même, aucune valeur nutritive; les animaux n'augmentent pas de poids lorsque la ration d'entretien est additionnée de sel; mais il en résulte dans le mouvement nutritif une activité marquée, qui se traduit par le développement des forces et une vitalité accusée des divers tissus. Bischoff a démontré d'une manière plus directe l'augmentation des métamorphoses nutrives par le sel marin; ce physiologiste a constaté que chez le chien nourri de viande et de sel, il s'élimine chaque jour près de 6 grammes d'urée en plus que par le régime ordinaire. Barral expérimentant sur les moutons a vérifié le même fait. Mais comme le sel, en provoquant la soif, augmente l'absorption de l'eau ainsi que la sécrétion urinaire, n'est-ce pas à l'une ou à l'autre de ces circonstances qu'il faut attribuer l'élimination exagérée de l'urée ? Les recherches récentes de Voït démontrent, en effet, qu'il suffit de faire absorber une plus grande quantité d'eau pour activer le travail nutritif et l'émission de l'urée; or, si la proportion d'eau ingérée reste normale, l'urée venant à passer néanmoins en excès dans les urines ne peut provenir que d'une hypersécrétion des urines, qui entraînent au dehors plus de principes solubles; en ce cas, l'eau est puisée dans les parenchymes; le sel favorise, par conséquent, l'endosmose de l'eau par les vaisseaux, et provoque ainsi des métamorphoses actives dans les tissus organiques.

Les phosphates ne sont pas moins répandus dans l'économie que les chlorures; le phosphate calcaire ou potassique prédomine dans tous les éléments histologiques, surtout dans le tissu osseux, et se retrouve également dans les liquides; ces sels prennent leur origine dans les matières protéiques, qui contiennent toute du phosphore et de la chaux; mais cette quantité est-elle suffisante pour couvrir les pertes, qui se font principalement par les urines? Chossat a fait des expériences sur les oiseaux pour prouver qu'un régime dépourvu de matière calcaire finit par produire le dépérissement; Mouriès attribue à cette privation les accidents les plus sinistres; mais tout ce qu'on peut affirmer, « c'est que le rôle du phosphate calcaire dans l'organisme ne se borne pas seulement à nourrir le système osseux». (Longet.)

Le fer fait également partie intégrante de nos organes; ses usages seront l'objet d'une discussion qui trouve naturellement sa place dans l'étude thérapeutique des anémies.

§ 6. — Ration normale de l'homme.

Pour arriver à préciser le moment où commence l'insuffisance alimentaire, il importe de connaître, au préalable, quels sont les besoins nutritifs de l'homme, quelle doit être sa ration normale ou d'entretien. On appelle ainsi la quantité d'aliments nécessaires pour subvenir entièrement aux métamorphoses nutritives de chaque organe, et en même temps

Digitized by Google

à la conservation du poids total du corps. Quels sont donc les moyens physiologiques de fixer les lois du régime? Ce n'est évidemment pas la détermination des quantités ingérées ou absorbées, car celles-ci n'indiquent pas les quantités nécessaires; l'organisme n'est pas une machine qui n'emprunte au dehors que ce qu'elle peut consommer; il peut y avoir un excès de substances livrées à la digestion, ou bien encore de matériaux absorbés par les vaisseaux; c'est même la règle générale. L'absorption est une fonction pour ainsi dire indifférente, un procédé physique, qui se règle uniquement sur la masse d'aliments introduits, se poursuit tant que les conditions physiques de l'endosmose continuent à agir, et ne s'arrête jamais instinctivement quand les appétits sont satisfaits. Tous les principes nutritifs sont absorbés en proportion directe de l'apport; la graisse seule ne comporte qu'une assimilation restreinte; mais ici encore les limites sont tracées par le pouvoir endosmotique et l'imprégnation de l'épithélium intestinal; l'absorption s'exerce donc aveuglément, son degré d'activité n'est pas la mesure du besoin normal.

Chez l'individu sain, qui est arrivé à son développement complet, il y a deux manières de juger l'équilibre trophique entre les recettes alimentaires et les déperditions organiques: le premier consiste à déterminer si la masse totale du corps reste la même; lorsque l'alimentation est insuffisante, la combustion s'exerce aux dépens de la substance des organes, le corps diminue proportionnellement aux pertes qu'il subit; si, au contraire, la quantité de matières absorbées dépasse les besoins réels, elles s'accumulent dans divers éléments histologiques principalement sous forme de graisse, et constituent la réserve nutritive. Ainsi, connaissant la quantité d'aliments ingérés, et tenant compte du poids corporel, on peut évaluer avec quelque précision le résultat de la nutrition en général.

La question peut être résolue par un deuxième moyen plus précis : il consiste à comparer, au point de vue de l'analyse élémentaire, les produits éliminatoires avec les substances ingérées; pour que l'économie conserve son intégrité, on doit trouver une véritable équation moléculaire entre les *ingesta* et les *excreta*; c'est donc un procédé rationnellement applicable à la détermination de la ration d'entretien. Toutefois il est à remarquer que les déperditions sont plutôt un effet de la quotité absorbée, qu'un régulateur de la recette. Lorsque l'alimentation ne produit pas une augmentation de poids corporel, elle entraîne toujours une perte relative à l'apport; ainsi l'excès de nourriture au delà des besoins réels se manifeste toujours par des métamorphoses excessives; et comme, sous l'influence du régime de luxe, les sécrétions sont toujours de la même nature que dans l'état normal, l'albumine en trop donne toujours de l'urée en plus; mais, comme les matières protéiques qui ont servi à la nutrition des tissus, entre autres des muscles, se traduisent également par l'élimination de l'urée, les produits excrétés n'indiquent pas la source de leur formation. Cette réserve étant faite, on peut dire que si le poids du corps reste stationnaire, si en d'autres termes les dépenses doivent s'équilibrer avec les recettes, entre les quantités d'azote et de carbone absorbées et les quantités éliminées, la balance doit être égale; cette sorte de bilan est donc la meilleure mesure des besoins nutritifs.

Modes d'élimination de l'azote et du carbone.—Les substances provenant de la décomposition, soit des matériaux constitutifs de l'organisme, soit des aliments, s'échappent par trois voies principales: 1° la surface respiratoire et cutanée, par laquelle passent les produits d'oxydation complète, comme l'acide carbonique et l'eau; 2° l'appareil urinaire qui excrète les composés intermédiaires, tels que l'acide urique, la créatine, l'urée, résultant d'une combustion imparfaite des albuminates; 3° l'intestin qui, chez l'homme, n'entraîne au dehors que les produits de digestion non assimilables, tandis que chez les herbivores c'est l'appareil excréteur le plus important. Si, pénétrant plus avant dans le mode d'élimination des produits rétrogrades, on ne tient compte que du carbone et de l'azote qui en font partie intégrante, on arrive à cette loi générale, à savoir: que la plus grande partie du carbone sort par le poumon sous forme d'acide carbonique, et l'azote par les urines sous forme d'urée.

Dans les conditions normales de la vie, il se perd journellement 28 grammes d'urée, qui représentent près de 18 grammes d'azote. Ajoutez à ce chiffre 1 gramme d'azote contenu dans l'acide urique et la créatine de l'urine, et 2 grammes d'azote éliminés par l'intestin et vous aurez un total de 21 grammes d'azote en vingt-quatre heures. Ainsi avec un travail physique nul ou modéré, l'homme doit trouver dans sa ration quotidienne 21 grammes d'azote, et d'une autre part, 230 grammes de carbone. Si ses aliments ne lui fournissent pas ces quantités sous une forme assimilable, le déficit nutritif entraînera une diminution du poids du corps.

De nombreuses expérimentations sur l'homme et les animaux semblent justifier ces indications; dans toutes ces recherches, l'azote éliminé a été calculé principalement, sinon uniquement, par l'urée, et le carbone par l'acide carbonique exhalé. Si ces moyens d'appréciation sont exacts, il sera facile d'établir la statistique chimique de l'organisme; il suffira, pour cela, de connaître les quantités d'azote et de carbone contenues dans le régime et de les comparer avec celles qui abandonnent l'économie sous les formes indiquées.

La question préalable à résoudre est donc celle-ci: l'urée de l'urine est-elle la mesure exacte de la transmutation des substances protéiques ou des tissus organiques? En d'autres termes, tout l'azote se retrouve-t-il dans l'urée? Lehmann, expérimentant sur lui-même, prend, dans l'espace de vingt-quatre heures, une quantité de viande contenant 30 grammes d'azote, cependant il n'en retrouve dans les urines que 24; il manque donc un cinquième; ce déficit que Barral a trouvé même plus considérable sur lui-même, et Bischoff sur un chien, ce déficit est constant, et indépendant de la quantité de nourriture; que le régime soit en défaut ou au contraire excessif, on rend toujours moins d'azote par les urines qu'on n'en prend par les aliments. une seule circonstance fait exception: elle est relative à une alimentation qui couvre exactement les dépenses non-seulement d'azote, mais encore de carbone; c'est ce que nous démontrerons par les travaux importants de Voït et de Ranke. Dès que cette double équation n'est pas concordante, l'urine ne contient plus tout l'azote absorbé; qu'advient-il de ce qui ne reparaît pas dans les urines? Si, en même temps que le déficit se monte, le poids corporel augmente, on est en droit de supposer que l'azote manquant s'est fixé dans l'organisme: si au contraire le poids du corps reste stationnaire, on ne peut plus faire que trois suppositions: ou bien l'azote reparaît dans l'air expiré, ou bien il est éliminé par la peau, sous forme de carbonate d'ammoniaque, ou bien enfin on doit le retrouver dans la sueur; or, quand l'azote est expiré, ce qui est loin d'être constant, il l'est en quantité pour ainsi dire inappréciable; d'une autre part, la respiration cu-

Digitized by Google

tanée ne fournit que des traces d'azote ou de carbonate d'ammoniaque; il reste donc la sécrétion de la sueur, qui entraîne de l'urée et de l'acide sudorique (Fabre et Funke); la déperdition de l'azote par les téguments est incontestable, mais elle ne saurait comprendre la cinquième partie de l'azote absorbé, c'est-à-dire tout ce qui ne se retrouve pas dans l'urine. On doit donc supposer quelque erreur d'analyse ou d'expérience; en effet, Voït a précisé les conditions qui permettent de retrouver tout l'azote dans l'urine; pour apprécier le mouvement nutritif, et calculer les effets des diverses alimentations, le critérium, c'est donc l'urée pour la nourriture azotée, l'acide carbonique pour les substances hydrocarbonées.

Régime normal. — Par le régime ordinaire, un homme sain qui pèse 70 kilogrammes et qui observe le repos rend de 24 à 30 grammes d'urée; lorsque la recette azotée reste la même, les oscillations de l'urée continuent plusieurs jours; mais bientôt elle devient stationnaire; alors la quantité d'azote éliminée par l'urée concorde parfaitement avec l'azote introduit par les aliments; il est donc toujours possible, avec une alimentation déterminée, de régler exactement l'élimination de l'urée, de façon que les excrétions en contiennent journellement autant qu'il entre d'azote dans l'économie. Toutefois l'équation ne s'établit chez l'homme qu'à une condition complexe, c'est que non-seulement la dépense de l'azote, mais aussi celle du carbone soit intégralement couverte par les ingesta correspondants, et cela pendant toute la période de l'expérimentation. Selon la variation des rapports de l'azote et du carbone contenus dans la nourriture, l'élimination de l'azote subit de nombreuses oscillations; mais il se fixe de plus en plus dans les organes, c'est-à-dire, s'élimine d'autant moins par les reins que l'absorption du carbone augmente et se rapproche de la normale. Or, nous savons qu'un individu sain, au repos et au régime mixte, exhale en moyenne 216 grammes de carbone; *si la nourriture contient l'équivalent du carbone dépensé, et si l'azote absorbé satisfait aux besoins normaux* (21 *grammes par jour*), *la dépense d'azote se réglera exactement sur la quantité absorbée.* Toutes les expériences pratiquées par Bischoff et Voït sur les chiens, et par Ranke sur lui-même, à l'aide du grand appareil respiratoire institué à Munich, confirment cette loi de nutrition.

Hope et Botkin en fournirent une nouvelle preuve. Un chien nourri exclusivement de viande perd de son poids, en même temps qu'il élimine une plus grande quantité d'urée; 74 parties d'azote s'éliminent sur 88 parties ingérées. Si l'on ajoute à ce régime une certaine ration de sucre ou de graisse, le poids de l'animal augmente, mais en même temps l'urée diminue, et l'on n'en trouve plus que 47 sur 88.

On attribue, dans ce cas, l'augmentation de la masse corporelle à la formation de la graisse aux dépens du sucre; mais il se peut aussi que le sucre étant facilement oxydable, empêche l'oxygène d'agir sur les albuminates, d'où il résulte qu'ils subissent eux-mêmes une transformation en graisse, et celle-ci se dépose dans la trame adipeuse. Que, du reste, l'engraissement soit direct ou le résultat d'un travail rétrograde, il importe peu; ce qui est certain, c'est qu'en pareil cas les dépenses de carbone et d'azote sont entièrement couvertes. Or, la nutrition exige, pour que la recette d'azote soit utilisée, que le carbone soit intégralement restitué. Toute infraction à cette loi est fatalement suivie d'inanition lente.

Des anémies alimentaires et dyspeptiques.

L'anémie peut se développer : 1° par une alimentation insuffisante; 2° par un régime défectueux, c'est-à-dire, qui ne contient pas les proportions normales d'azote ou de carbone; 3° par suite des affections du tube digestif et de ses annexes qui empêchent l'assimilation.

§ 1er. — Des anémies par alimentation insuffisante. Inanition.

Les alimentations insuffisantes déterminent à la longue les mêmes phénomènes que l'abstinence. Il résulte des travaux de Chossat, Boussingault, Bidder et Schmidt, et des recherches plus récentes de Bischoff et Voït, Panum, Ranke, que si l'organisme, ne recevant du dehors que l'oxygène atmosphérique, reste privé de toute nourriture, il peut, pendant plusieurs jours, vivre de sa substance constitutive; c'est là l'inanition.

Déperdition des éléments histologiques. — Pendant tout le temps que dure l'inanition, les fonctions du cœur et de la respiration continuant à s'exercer nécessitent une dépense de forces constante, quoique réduite au minimum. A cette dépense correspondent des oxydations qui sont toujours, du moins au point de vue de leur composition, les mêmes que dans l'état physiologique; l'urée et l'acide carbonique continuent à se produire et à s'éliminer. Or, comme l'aliment fait défaut, leur origine ne peut être que dans les tissus et humeurs de l'économie, c'est-à-dire dans la graisse de réserve, la trame des muscles et parenchymes, et finalement dans les principes albuminoïdes du sang.

De là, comme phénomène initial, une perte de poids corporel qui, très-marquée le premier jour, à cause de l'élimination des dernières masses alimentaires, continue ensuite uniformément pendant toute la durée de l'inanition; dès que cette déperdition atteint 40 centièmes du poids primitif, elle est incompatible avec la vie; la limite est reculée à 51 centièmes lorsqu'il existait un engraissement préalable. « En nourrissant un animal d'une manière insuffisante, au lieu de le » priver totalement d'aliments, on retarde, il est vrai, plus ou » moins l'époque de la mort; mais on n'altère en rien la loi » d'après laquelle la mort arrive; dans l'un et l'autre cas, » l'animal meurt dès que le poids initial a diminué des » 40 centièmes. » (Bouchardat.)

Ce n'est pas tout que d'avoir fixé la loi de la perte intégrale du corps, il importe de connaître le déchet proportionnel que subissent les divers organes, systèmes et liquides de l'économie. C'est la graisse qui se perd d'abord, et cette dépréciation frappe uniformément la graisse préexistant dans l'organisme, c'est-à-dire les matériaux constituant la réserve nutritive; à la fin de l'inanition, elle a disparu dans la proportion d'au moins 80 centièmes (Bidder et Schmidt), et de 93 centièmes, d'après Chossat.

Le système musculaire est atteint gravement comme le tissu graisseux; les 66 centièmes de la substance charnue disparaissent pendant l'expérience; les calculs de Chossat, qui avait surestimé la perte de la graisse, ont par cela même amoindri le degré de la fonte musculaire. Aussi les animaux consument successivement leur graisse, leur chair; ils deviennent pour ainsi autophages.

Du sang dans l'inanition. — Pendant que la graisse et les muscles subissent une si grave dépréciation, que devient le

Digitized by Google

sang? Chossat avait manifestement surfait les déperditions du liquide nourricier, en les fixant arbitrairement à 60 centièmes de la quantité normale; les expériences de Valentin et de Heidenhain, et les recherches récentes de Panum, sont d'accord pour infirmer ce résultat; afin d'apprécier la proportion totale du sang, ces expérimentateurs se sont servis de la méthode de Welker, qui consiste à délayer le sang et à le comparer ensuite avec une plaque colorée par l'hématine (voy. page 23). Panum, pour éviter toute erreur, chercha à établir d'abord la quantité normale de sang chez le chien, et la quotité relative au poids de l'animal; en faisant les mêmes recherches sur un chien mis à l'abstinence des aliments solides, il constata d'abord que la contenance des globules en hématine ne se modifie pas sensiblement pendant l'expérience; d'une autre part, la masse du sang elle-même, dans ses rapports avec le poids du corps, reste à peu près la même; enfin, la quantité de sang peut bien diminuer d'une manière absolue, mais cette diminution n'est pas plus marquée que celle du poids de l'individu.

Si le sang ne se déprécie pas en totalité, cependant il subit des modifications dans sa composition intime: sur une jeune fille tenue pendant quinze jours à une diète rigoureuse, Denis a vu l'eau du sérum s'élever de 787 (chiffre moyen) à 826; cette dilution du sang, cette tendance à l'hydrémie, a été vérifiée par tous les observateurs.

Une autre altération généralement admise depuis les recherches de Lecanu, de Gavarret, de Poggiale, c'est l'abaissement du chiffre des globules; cependant Panum, en pratiquant les analyses d'après la méthode de Scherer, est arrivé à des résultats différents; or, s'il y a une diminution absolue de la masse sanguine, il doit y avoir nécessairement une diminution absolue du nombre des globules, ce qui s'accorde parfaitement avec les conclusions de Gavarret et les analyses de Lecanu, qui a vu les globules s'abaisser de 127 à 82; mais au moment où cet examen a été pratiqué, le corps n'avait-il pas perdu déjà un tiers de son poids? S'il en est ainsi, on peut dire des globules ce que nous avons dit du sang total, c'est que leur diminution est proportionnée aux déperditions en général, mais ne saurait être ni la cause, ni le point de départ des autres phénomènes de l'inanition. Il en est tout autrement dans l'aglobulie d'origine hémorrhagique; entre celle-ci et l'aglobulie qui succède à l'inanition, il y a donc à établir une distinction radicale qui domine toute la thérapeutique de ces deux classes d'anémies.

La fibrine ne se modifie pas plus que l'élément globulaire; elle n'est donc pas, comme on le croit généralement, la matière nutritive des organes; car, s'il en était ainsi, elle devrait diminuer plus rapidement que les parenchymes, et c'est le contraire qui a lieu. C'est l'albumine qui diminue de la manière la plus manifeste, et cela dès les premiers jours; la dépréciation est de près de 50 pour 100; on peut donc lui attribuer quelques propriétés nutritives.

Au résumé, l'inanition ne déprécie le sang et ses globules que proportionnellement aux déperditions corporelles; l'aglobulie n'est donc pas primitive, il se développe au contraire une tendance manifeste à l'hydrémie vraie, c'est-à-dire, avec perte d'albumine; or, nous savons que l'analbuminémie présente des conséquences bien autrement graves que l'anémie globulaire.

Urines de l'inanition. — L'urine, pendant les trois premiers jours de l'inanition, diminue plus vite que le poids du corps; pendant les jours suivants, la diminution est proportionnelle à celle du corps. En même temps, la sécrétion éprouve des changements considérables: l'acidité normale de l'urine persiste; les acides phosphorique et sulfurique tendent même à augmenter, le chlorure de sodium disparaît au contraire rapidement, et, dès le cinquième jour de l'expérience, il n'y en a plus de traces; mais le phénomène le plus remarquable est la diminution de l'urée; l'autophagie, très-manifeste le premier jour, donne encore lieu à une quantité d'urée assez marquée; l'usure des tissus semble devoir donner les mêmes résultats, c'est-à-dire les mêmes produits éliminatoires azotés, qu'une nourriture azotée; on en avait conclu à priori que l'urée qui représente la dénutrition des organes devait se maintenir au chiffre normal; or, il n'en est rien. Dès le surlendemain, chez le chien, il ne s'élimine plus que 8 grammes d'urée, le sixième jour 4 grammes, et moins de 1 gramme le dix-huitième jour.

La production de l'urée s'amoindrit avec les progrès de l'inanition, ce qui prouve que les oxydations s'affaiblissent partout, surtout dans les tissus organisés. Les mêmes phénomènes s'observent chez l'homme. Après une abstinence de vingt-quatre heures, il ne rend plus que 17 grammes d'urée (ou 9 grammes d'azote). Qu'on ne croie pas d'ailleurs que l'azote qui manque, en pareil cas, se retrouve dans aucun autre principe de l'urine; l'acide urique qui, dans l'état normal, est représenté par une moyenne de 0,50 par jour, tombe à 0,33 par le fait de la diète. Par rapport à l'urée, l'acide urique diminue également; ce rapport n'est plus que 1:71 au lieu d'être de 1:45, chiffre normal.

Pendant que l'urée et l'acide urique diminuent et que les chlorures disparaissent, il se manifeste une autre altération grave, c'est l'albuminurie, qui n'a cependant pas de connexité positive avec aucun des phénomènes indiqués, pas même avec la disparition des sels. E. Rosenthal a constaté en effet, que si l'on ajoute 2 à 3 grammes de sel marin à une alimentation insuffisante, il reparaît dans les urines, mais l'albumine ne disparaît pas immédiatement. Cette albuminurie ne peut être attribuée qu'à deux causes, ou une lésion des reins ou la dilution du sang; or, les urines ne contiennent dans ce cas ni globules sanguins, ni corpuscules de pus, ni épithéliums, ni cylindres fibrineux; tout ce qui, dans les urines, indique une dégénérescence ou une irritation des reins, semble donc manquer d'une manière absolue; les reins n'éprouvent d'ailleurs pas de modification appréciable de poids par le fait de l'inanition (Chossat). Cependant, il est douteux que l'hydrémie suffise pour provoquer l'usage du sérum à travers les tubes urinifères; l'examen histologique des reins n'a jamais été pratiqué, pas même par Rosenthal; les urines n'ont pas été examinées au point de vue des épithéliums; on est donc en droit de supposer qu'une modification intime s'établit dans la texture rénale, soit primitivement, soit sous l'influence de l'altération du sang, qui ne serait par conséquent qu'une circonstance adjuvante, une cause prédisposante de dénutrition du rein.

Combustions respiratoires. — Température. — Les phénomènes respiratoires se modifient comme les oxydations des tissus organiques; pendant les premiers jours, la quantité d'acide carbonique exhalée correspond exactement à la perte totale du poids, de sorte que chaque kilogramme du poids corporel fournit chaque jour la même quantité d'acide carbonique que dans l'état de santé; plus tard, les rapports changent; chaque portion de la trame organique semble former et éliminer une plus grande quantité d'acide carbonique;

Digitized by Google

mais, considéré dans son ensemble et pendant *toute* l'inanition, l'organisme rend moins d'acide carbonique. Ainsi, chez l'homme, au lieu de 216 grammes, le poumon n'expire plus que 185 grammes de carbone; cette fonction est donc moins atteinte que la formation de l'urée; mais chez les animaux arrivés à la limite extrême de la vie, l'émission de carbone s'affaiblit rapidement.

En somme, l'absorption d'oxygène s'amoindrit régulièrement du début jusqu'à la fin de l'expérience; l'animal brûle les matériaux graisseux, puis les chairs, de sorte que le rapport de l'oxygène à l'acide carbonique s'établit alors à peu près comme s'il s'agit d'une alimentation graisseuse, puis d'un régime protéique insuffisant.

La faiblesse des oxydations détermine une débilitation considérable, une circulation plus faible, une respiration plus lente, mais surtout un abaissement de la température; le premier jour, il y a un refroidissement marqué, puis il n'est plus que de 3 degrés par jour; les variations diurnes continuent; pendant le sommeil, la chaleur se perd; enfin, quand elle est descendue à 25 degrés, l'animal meurt.

Digestion et absorption. — L'abstinence prolongée détermine dans le tube digestif des modifications telles, que la sécrétion du suc gastrique est enrayée, que la digestion devient difficile ou impossible; aussi, après la diète, on ne doit revenir que graduellement à l'alimentation normale.

Une diète rigoureuse présente donc ce premier danger; elle en entraîne un autre. C'est la difficulté de l'absorption à une certaine période de l'inanition; en effet, chez les malades soumis à l'abstinence, les matériaux de résorption sont puisés pour ainsi dire exclusivement dans les tissus adipeux et musculaires; si les suppurations diminuent, si les ulcères se tarissent, si les éruptions pâlissent, c'est que les sécrétions s'arrêtent, mais d'une manière temporaire; en tous les cas, l'absorption est loin de s'exercer sur les produits morbides; il suffit de citer les épanchements séreux ou fibrineux, les inflammations parenchymateuses, que l'on voit résister aux diètes les plus absolues.

§ 2. — Des anémies par alimentations défectueuses.

Nourriture exclusivement hydrocarbonée. — Le régime non azoté produit rapidement les mêmes désordres que l'abstinence; l'amaigrissement porte principalement sur les tissus organisés; il en résulte que l'urée, qui se maintient d'abord à son chiffre normal, finit par diminuer et tomber au minimum, exactement comme dans la diète absolue. L'acide urique diminue aussi, mais dans des proportions moindres; par un régime mixte, son rapport avec l'urée s'exprime par 1,45; sous l'influence du régime hydrocarboné, il n'est plus représenté que par 1,61. L'élimination du carbone, au contraire, se maintient dans la moyenne physiologique pendant un assez long temps; l'acide carbonique continue à se former aux dépens des aliments féculents, et d'une autre part aux dépens de la graisse de réserve; mais comme l'azote absorbé ne suffit pas pour couvrir les pertes de même nature, l'activité nervo-musculaire s'amoindrit et les oxydations des matières hydrocarbonées, d'origine externe ou interne, finissent par s'enrayer à leur tour. On a donc tous les effets de l'inanition.

Nourriture exclusivement animale.—Il paraît étrange qu'une nourriture exclusivement animale puisse produire l'inanition; cependant rien n'est plus exact. Magendie, en nourrissant un chien avec de la fibrine, le vit bientôt dépérir, cette expérience, qui a été confirmée par tous les physiologistes, ne saurait s'expliquer par l'ancienne doctrine, qui attribue aux aliments albuminoïdes un pouvoir plastique et une propriété nutritive irréprochable; aussi a-t-on pensé que le dépérissement était dû en ce cas au dégoût, à la difficulté de digérer, mais la vérité est celle-ci : pour que l'azote absorbé puisse couvrir la dépense d'azote, il faut qu'il y ait en même temps équation entre la recette et la perte de carbone; c'est une confirmation irréfutable de la loi posée par Voït. — La nourriture de l'homme ne peut être exclusivement animale; bien que dans ces dernières années on ait singulièrement préconisé et exagéré ce genre de régime, il produit des inconvénients graves, quoique différents de ceux de l'alimentation défectueuse. La digestion et l'absorption ne s'accomplissent plus d'une manière complète; chez un homme qui prendrait 1500 à 2000 grammes de viande par jour, le pouvoir digestif ne s'exerce plus que sur les 8 à 9/10 de l'aliment. Un autre fait bien plus étrange s'observe en pareil cas; le poids corporel éprouve une sensible diminution; les quantités les plus considérables d'albuminates ou de syntonine musculaire qu'un homme puisse ingérer et surtout digérer ne suffisent pas pour couvrir les pertes; qu'arrive-t-il, en effet, en pareil cas? Les chairs et le sang ne s'usent plus que modérément, et cette transformation ne suffit pas pour fournir le carbone qui doit s'exhaler naturellement; la proportion de charbon contenue dans la chair dépasse à peine celle qui est expirée pendant l'inanition; donc la dénutrition doit porter sur les tissus de l'organisme; ils s'épuisent en carbone, sans pouvoir s'annexer l'azote.

Les composés azotifères s'éliminent, en effet, d'une manière excessive; l'ingestion de 1800 grammes de viande donne à Ranke 86 grammes d'urée au lieu de 28, chiffre normal; l'acide urique, d'une autre part, s'élève proportionnellement; et contracte, relativement à l'urée, le rapport de 1 : 36 et même 1 : 23 (le rapport normal est de 1 : 45); ainsi le régime exclusivement azoté augmente à la fois l'urée et l'acide urique; mais cette augmentation ne se fait pas immédiatement en proportion directe de l'apport; elle n'est sensible qu'après vingt-quatre heures révolues, puis elle continue le jour suivant.

A un moment donné, si l'on pouvait obtenir l'équilibre nutritif par l'usage exclusif de la viande, il faudrait toujours tenir compte du régime antérieur. Un chien habituellement nourri de viande consomme pour sa ration journalière d'entretien environ 40 grammes de viande pour chaque kilogramme du poids de l'animal; si la ration n'est plus que de 34 grammes, l'amaigrissement commence.

Il en est de même chez l'homme; on ne saurait impunément rationner l'individu habitué à une alimentation de luxe. Cette circonstance doit toujours être présente à l'esprit du praticien qui prescrit un régime spécial.

Pour compléter l'histoire des alimentations exclusives ou insuffisantes, il nous reste à parler des maladies populaires, qui résultent de ces graves défauts de l'hygiène publique.

Inanitions épidémiques. — Dans certaines contrées pauvres ou privées de voies de communication, les mauvaises récoltes, les années de sécheresse qui compromettent les pâturages, les épizooties qui sévissent sur le bétail alimentaire finissent par produire parfois des ravages considérables. La rareté et le

Digitized by Google

renchérissement des viandes, conséquence inévitable de ces périodes calamiteuses, déterminent toujours l'insuffisance alimentaire ou le défaut d'azote; dans tous les cas, les populations affamées ou mal nourries ne tardent pas à subir les effets d'une inanition lente, dont les phénomènes présentent, dans leur manière d'être et dans leurs enchaînement, l'identité la plus absolue avec ceux de l'abstinence. Pour s'en convaincre, il n'est malheureusement pas nécessaire de remonter aux siècles précédents. En 1818, il régna en Belgique une famine dont Mersman a tracé le plus saisissant tableau. En 1843, Virchow fut délégué pour étudier les moyens de combattre les effets de la misère qui désolait les villages de la Silésie. Plus près de l'époque actuelle, on a pu observer en Irlande les suites désastreuses de l'usage exclusif des pommes de terre. Enfin, en 1865, la chaleur et la sécheresse qui régnèrent en Hongrie, amenèrent la perte des fourrages, et par suite la mort du bétail; il en résulta une famine des plus graves. Dans toutes ces pénibles circonstances, les effets ont été et sont toujours les mêmes.

La pâleur et l'amaigrissement constituent les premiers signes qui caractérisent la dénutrition; puis les mouvements deviennent lents et faibles; les digestions se troublent, et bientôt se manifeste la série des altérations du sang. Par suite de la privation d'aliments, les matières plasmatiques du sang s'usent pour l'entretien du fonctionnement organique; puis, comme elles ne sont pas remplacées, le sang devient séreux, en même temps que les globules diminuent d'une manière absolue, et que l'albumine subit une dépréciation de plus de moitié : si les lésions et leurs causes persistent, il peut en résulter une désalbuminémie et, par conséquent, une disposition à l'hydropisie. En 1771, Aran observa à Eichfeld l'*hydrops famelicus* avec toutes ses conséquences; mais de pareils phénomènes sont au moins rares. Virchow, qui a observé la famine de Spessart et en même temps une épidémie de typhus pétéchial, n'a pas constaté les infiltrations séreuses; il conclut de là que ce phénomène ne se produit qu'autant qu'il se joint à une autre cause, telle qu'une intoxication paludéenne, un état cachectique.

§ 3. — Des anémies d'origine dyspeptique.

Dans l'ordre pathologique, les conditions de l'anémie sont si variées qu'elles semblent devoir échapper à une formule générale; cependant, en analysant ces causes et surtout leur mécanisme, on arrive à conclure qu'il s'agit toujours, ou d'un obstacle sur le trajet des conduits alimentaires, ou bien d'un défaut d'élaboration dans le tube digestif, ou bien enfin d'une altération des glandes annexes et des liquides qu'ils sécrètent.

Les rétrécissements de l'œsophage, du cardia, du pylore, agissent d'après le premier mode, en empêchant les aliments d'atteindre les viscères digestifs. Dans l'estomac et les intestins, les aliments doivent subir l'action chimique du suc gastrique et intestinal, l'action physique des parois musculaires; or, les contractions et les sécrétions sont toutes sous l'influence de l'influx nerveux; dès que l'innervation vient à être affaiblie par des causes morales ou excitée par des douleurs physiques, il en résulte constamment des troubles dans l'assimilation; l'anémie, qui en est l'inévitable conséquence, s'observe même parfois au milieu des conditions hygiéniques les plus favorables; c'est dans les préoccupations de toute espèce qu'il faut chercher l'origine de ces inanitions dyspeptiques qu'on constate chez un grand nombre d'individus appartenant aux classes élevées de la société : ils restent pauvres au milieu des richesses; leur misère vient du système nerveux qui s'épuise. Des accidents graves se manisfestent plus sûrement encore à la suite des maladies du tube digestif, telles que les dyspepsies par altération des glandes de l'estomac ou des intestins, les dégénérescences cancéreuses, les ulcères simples; j'ai vu les mêmes résultats se produire à la suite de ces constipations rebelles, d'origine atonique ou hémorrhoïdale, qui déterminent finalement une desquamation épithéliale mêlée de mucus concret; que ce soit la sécrétion muqueuse, comme je l'ai déjà indiqué, ou bien l'atonie du tube digestif, toujours est-il qu'il y a là une cause fréquemment méconnue d'anémie, principalement chez les hystériques et les hémorrhoïdaires.

Il reste à signaler, comme causes d'anémie, les lésions des glandes annexes et de leurs sécrétions. L'influence de la bile sur la digestion, principalement sur l'absorption des matières grasses, ne saurait être contestée; de plus, si la bile n'est pas sécrétée en quantité normale, ses matériaux de résorption manquent à l'intégrité du sang, qui ne saurait se réparer que par une ration alimentaire double ou triple de la ration normale; enfin, le foie lui-même exerce une action directe sur la production des globules; donc, les maladies de cet organe sont, à plusieurs titres, d'une extrême importance dans l'étiologie des anémies.

Les dégénérescences du pancréas sont plus fréquemment négligées dans la pathogénie des anémies, sans doute à cause des difficultés inhérentes au diagnostic; mais la présence des matières grasses dans les selles constitue un indice sémiologique d'une valeur réelle. La mort d'un grand dignitaire de l'État a été attribuée à une lésion de ce genre. L'examen histologique, pratiqué par le professeur Robin, ne permet pas de mettre en doute l'influence de cet organe sur la production de l'anémie.

G. Sée.

Société protectrice de l'enfance. — Dans la séance générale de dimanche prochain, 29 juillet, à une heure (salle de la Société d'acclimatation, 19, rue de Li[illegible]), M. le docteur Marchal (de Calvi) fera une conférence sur la *vaccine*. Les personnes qui désirent des billets doivent s'adresser au siége de la Société, 13, rue des Saints-Pères, où on les délivre gratuitement.

Institut archéologique de Londres. — Dans la session qui vient d'avoir lieu salle du Guidhall, sir John Lubbock a prononcé un remarquable discours sur les quatre âges de l'humanité primitive : l'âge des pierres brutes, l'âge des pierres polies, l'âge de bronze et l'âge de fer. La forme de la plus ancienne de ces quatre divisions historiques indique une température fort rude et des hivers très-rigoureux concordant avec ce que nous savons de la période glaciaire.

Le propriétaire-gérant : Germer Baillière.

Paris. — Imprimerie de E. Martinet, rue Mignon, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE NUMÉRO 36 4 AOUT 1866

Paris, 3 août 1866.

Lundi 23 juillet M. Pasteur a lu un assez long rapport sur la maladie des vers à soie qui, depuis une dizaine d'années, n'a pas causé moins de trois ou quatre milliards de perte à l'industrie séricicole tant en France qu'à l'étranger. M. Pasteur s'est particulièrement attaché, dans ses recherches, à l'étude des corpuscules vibrants qu'on avait observés dans la graine et sur les vers; il a constaté que la graine et les vers infectés d'un grand nombre de corpuscules étaient toujours malades, mais que les vers non corpusculeux l'étaient souvent aussi, les corpuscules qui ne s'étaient pas montrés d'abord se développant par la suite. Ainsi les corpuscules seraient sinon la cause au moins le signe extérieur de la maladie, et la graine ne pourrait fournir des individus sains que lorsqu'elle provient elle-même d'individus non corpusculeux ou très-faiblement corpusculeux. M. Pasteur propose donc d'examiner au microscope un certain nombre d'individus des chambrées qu'on se propose de consacrer à la reproduction pour s'assurer auparavant que les corpuscules y sont peu nombreux et, en cas contraire, de les écarter. Il est persuadé que cet examen pourrait facilement être fait par des gens peu experts, même par des enfants, car les corpuscules se reconnaissent au premier coup d'œil lorsqu'on les a déjà observés au microscope; et il propose de déposer à cet effet des microscopes dans toutes les communes séricicoles. Quant à la nature de ces corpuscules, il ne les croit ni animaux ni végétaux, et les rapproche de ces substances qu'il appelle *organiques*, telles que les globules du sang. Les idées de M. Pasteur peuvent soulever de graves objections et demanderaient à être mieux éclaircies.

M. Chevreul a présenté, au nom de M. Cloez, un travail relatif à l'influence qu'exerce sur l'organisme l'air mêlé de sulfure de carbone. La présence d'un vingtième de sulfure de carbone dans l'atmosphère suffit pour entraîner la mort des animaux de petite taille, et ce moyen a même été expérimenté avec succès au Muséum d'histoire naturelle, afin de débarrasser la ménagerie des rats qui l'infestaient depuis longtemps.

Enfin M. Séguier a présenté les fusils de M. Galand (de Liége). — Le fusil à aiguille prussien est le héros du jour; depuis ses rapides exploits en Bohême il fait parler de lui partout; les journaux populaires en publient des dessins en coupe et en perspective, les théâtres de genre lui empruntent le sujet de leurs vaudevilles ou le titre de leurs revues, et les hommes graves se demandent s'il paraîtra bientôt au bras des soldats français, quoique certaines gens l'accusent de ne pas convenir à leur tempérament. Inventeurs ou armuriers, il empêche tout le monde de dormir, et chacun s'empresse d'apporter son contingent d'explications ou de perfectionnements nouveaux. Aussi l'Académie a-t-elle paru s'intéresser vivement au fusil à aiguille que lui a montré M. Séguier, non pas un modèle, mais un vrai fusil prussien possédant des états de service bien authentiques.

Dans nos fusils ordinaires, la cartouche est enflammée par la partie la plus éloignée de la balle, de sorte que les premières parcelles de poudre qui brûlent mettent en mouvement la masse tout entière, balle et poudre non enflammée, qui arrive généralement au bout du canon avant que la totalité de la poudre n'ait eu le temps de brûler, et il est évident qu'une fois la balle sortie du canon, il ne peut plus être question d'agir sur elle. Dans le fusil prussien, au contraire, l'inflammation se produit, au moyen de la fameuse aiguille, à l'autre extrémité de la charge, à celle qui touche immédiatement la balle, de sorte que la poudre brûle tout entière en produisant sur la balle un effet progressivement croissant, puisqu'il n'y a pas pour elle d'autre moyen de sortir du canon, et l'on ne trouve plus devant le tireur cette poussière légère que projettent toujours nos fusils à baguette, poussière qui n'est autre que de la poudre non brûlée. De plus, il se trouve derrière la charge un espace relativement assez grand, rempli d'air qui se comprime sous l'influence de la force expansive de la poudre, pour se dilater ensuite par suite de l'échauffement, et qui constitue ainsi une sorte de matelas élastique ayant à la fois pour effet de diminuer le recul de l'arme contre l'épaule du tireur et régulariser la projection progressivement accélérée de la balle.

Comme le fusil prussien, le fusil Galand se charge par la culasse, et l'inflammation a lieu aussi dans la partie de la poudre qui avoisine la balle : celle-ci se trouve séparée de la poudre par un disque de feutre imbibé d'un corps gras qui perfectionnerait l'adhérence avec les pa-

Digitized by Google

rois et jouerait le même rôle que la chambre à air placée dans l'âme du fusil prussien. M. Séguier revendique la priorité de cette idée et fait ouvrir un pli cacheté, déposé par lui en 1849, et recommandant l'interposition entre la poudre et la balle d'un corps élastique comme des rondelles de caoutchouc vulcanisé. Grâce à cette disposition, la poudre, au lieu de produire sur la balle l'effet d'un choc brusque, développe une force régulièrement croissante qui imprime à la balle une vitesse bien plus considérable.

Le fusil Galand se charge avec une balle cylindro-conique creusée en arrière, c'est-à-dire à la base de sa partie cylindrique, d'une cavité assez profonde pour que le centre de gravité soit placé du côté de la pointe du cône, ce qui force la balle à s'avancer toujours la pointe en avant sous l'impulsion de la poudre. Une balle de 45 grammes ainsi lancée avec 6 grammes et demi de poudre fine perce, à 100 mètres de distance, une plaque de fer de 14 millimètres d'épaisseur.

Voilà certes des résultats qui peuvent passer pour suffisants; mais le fusil de guerre étant à la mode pour le moment, chaque jour en voit naître un nouveau se prétendant toujours bien supérieur à tous les précédents. On vient même de nous annoncer un fusil électrique de Gatine-Reinette, tirant trente coups à la minute et jouissant d'un tir réglé à 2 kilomètres de distance. Où s'arrêtera-t-on dans cette voie? Il est vrai que ce dernier fusil est destiné sans doute à la chasse aux canards.

Lundi dernier, M. Pasteur a présenté un travail de M. Gernez sur les phénomènes de surfusion qui se rapprochent à beaucoup d'égards des phénomènes de sursaturation déjà étudiés par lui l'année dernière.

Il y a sursaturation lorsqu'un volume donné de liquide se trouve contenir une certaine substance en dissolution dans des proportions plus considérables que ne l'indique son pouvoir de saturation à l'égard de cette substance; souvent alors la dissolution se prend subitement en masse, et M. Gernez a montré que ce phénomène était toujours dû au contact d'un cristal de la substance contenue dans la dissolution sursaturée, par quelque voie d'ailleurs que ce cristal soit arrivé.

La surfusion est un phénomène assez analogue; elle consiste dans le maintien d'un corps à l'état liquide au dessous de son poids de congélation ou de liquéfaction. Ainsi le soufre fond à 110°; et cependant on peut, dans certaines circonstances, obtenir du soufre liquide à 100°; mais de même que la dissolution sursaturée se prend subitement en masse, le soufre surfondu se solidifie tout à coup sous l'influence de certaines conditions. M. Gernez a montré que cette solidification instantanée était toujours due au contact d'un fragment de soufre solide, pourvu qu'on opère avec des corps portés au moins à la température de la masse surfondue, car si l'on mettait en contact, par exemple, un corps solide quelconque à 80° ou 90° avec du soufre surfondu à 100°, la solidification se produirait sous l'influence de ce refroidissement; il faut ajouter que le contact de deux corps solides au sein de la masse surfondue amène sa solidification instantanée : ainsi on peut y agiter une tige de fer sans produire aucun effet, mais la solidification se manifeste de suite si l'on touche les parois du vase ou si on les ébranle par un choc assez violent.

M. Faye a présenté quelques observations relativement aux derniers travaux du P. Secchi sur les taches du soleil. Le P. Secchi avait trouvé pour ces taches une profondeur moins considérable que celle assignée par M. Faye; il expliquait cette différence par les effets de la réfraction due à l'atmosphère solaire, et dont M. Faye n'avait pas tenu compte, les croyant assez petits pour pouvoir être négligés. Afin d'éclaicir la question, le P. Secchi fit une série d'observations non plus sur le fond noir de la tache, mais sur son bord, sur la pénombre. Il comptait mettre ainsi en évidence la quantité qui faisait l'objet du débat puisque l'observation ne portait plus que sur cette quantité toute seule; mais à son grand étonnement, ces observations ne permirent pas de constater un effet sensible dû à la réfraction de l'atmosphère solaire. Il semblerait donc que le soleil n'a pas du tout d'atmosphère, tandis qu'on s'accorde généralement à lui en reconnaître une fort considérable, ou bien que cette atmosphère à un pouvoir réfringent nul. Mais comme nos mesures ne sont pas rigoureusement exactes, il faut tenir compte des erreurs possibles, en appréciant à peu près leur maximum, et l'on arrive alors à dire que la hauteur de l'atmosphère solaire ne peut pas dépasser $\frac{1}{570}$ du rayon, ni le pouvoir réfringent de cette atmosphère être six fois plus considérable que celui de l'atmosphère terrestre. — M. Faye a commencé en outre la lecture d'un travail sur les étoiles nouvelles.

Enfin M. Babinet a présenté quelques observations relativement au câble transatlantique. On sait qu'après cinq tentatives infructueuses ce câble vient enfin d'être posé, grâce au fameux *Great-Eastern*, et que les communications sont dès à présent établies entre Valentia, en Irlande, et la baie de la Trinité dans l'île de Terre-Neuve, en Amérique. Malheureusement M. Babinet n'espère pas que les communications télégraphiques entre les deux continents puissent durer longtemps. En effet, le câble transatlantique est beaucoup plus petit que les câbles immergés dans la Manche, entre la France et l'Angleterre : le *Great-Eastern* lui-même, malgré ses proportions, n'aurait point suffi à embarquer une longueur suffisante d'un câble aussi volumineux. Or, les câbles de la Manche, dans toutes les parties qui ne sont point plongées sous la vase, sont corrodées par l'eau de la mer qui leur enlève chaque année presque un millimètre de leur épaisseur. Du reste, les fragments du précédent câble transatlantique qu'on a retirés de la mer avaient déjà perdu depuis leur immersion leur première couche métallique. Puisque le câble est exposé à périr prochainement, dit M. Babinet, il faut nous hâter de nous en servir, afin que les 19 millions

Digitized by Google

qu'il a coûtés ne soient pas absolument perdus comme les 18 millions, prix du câble précédent, et pour cela il faut l'employer au plus vite à déterminer les longitudes des points extrêmes en Europe et en Amérique. — Les actionnaires ne seront guère satisfaits d'une longitude pour dividende, interrompt M. Morin. — Cela se peut, répond M. Babinet; cependant on vend quelquefois les longitudes; ainsi lorsqu'on divisa le territoire de l'Iowa aux États-Unis, il fallut bien indiquer sur une carte la position de chaque commune; les télégraphes américains furent employés, moyennant une certaine redevance, à la détermination des longitudes nécessaires pour ce travail. Sans doute, ce produit-là ne saurait être bien considérable; mais cela vaut toujours mieux que rien. E. A.

INSTITUTION ROYALE DE LA GRANDE-BRETAGNE.

(LECTURES DU VENDREDI SOIR.)

CONFÉRENCE DE SIR JOHN LUBBOCK.

Les métamorphoses des insectes.

La grande famille *Annulosa* à laquelle appartiennent les Insectes, se divise en cinq classes : les Annélides, les Crustacés, les Arachnides, les Myriapodes et les Insectes.

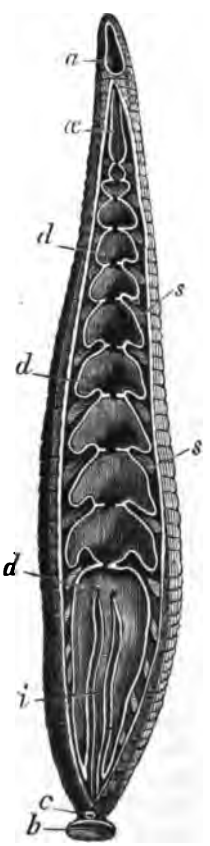


FIG. 257. — Un Annélide, la Sangsue officinale ouverte par la face ventrale et dont la moitié longitudinale du tube digestif a été enlevée.

a, ventouse intérieure dans laquelle est la bouche;
b, ventouse postérieure;
c, anus;
d, *d*, *d*, poches des cæcums de l'ingluvis;
œ, œsophage;
i, intestin;
s, *s*, glandes produisant la mucosité.

Les Annélides ou Vers, ont un corps formé de segments plus ou moins nombreux, mais sans membres joints à ce corps (fig. 257).

Les Crustacés (Écrevisses, Crabes, Homards, etc.) ont un corps articulé, et chaque segment porte une paire de membres. Ce sont des animaux aquatiques (fig. 258).

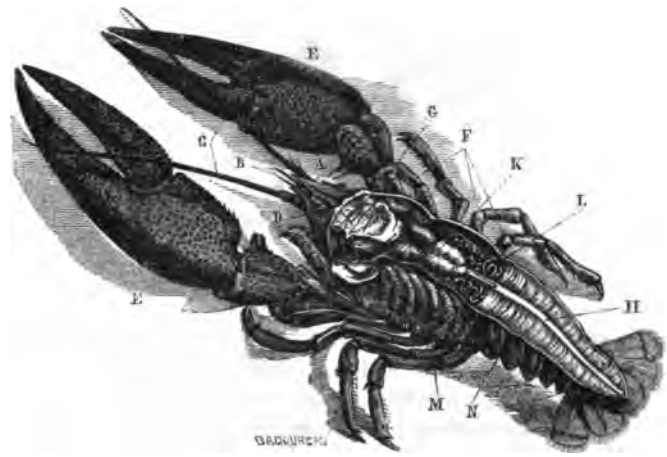


FIG. 258. — Un Crustacé, l'Écrevisse, dont une partie de la face dorsale a été enlevée.

A, rostre; — B, antennes internes; — C, antennes externes; — D, œil; — E, première paire de pattes; — F, les quatre autres pattes; — G, estomac; — H, intestin; — K, cœur dépouillé du péricarde; — L, artère abdominale; — M, branchies; — N, muscles de la queue.

Les Arachnides, ou Araignées, ont quatre paires de pattes, Leur corps est divisé en deux parties, le céphalothorax et l'abdomen. Les segments composant l'abdomen ne portent aucun appendice. Ce sont des animaux aériens (fig. 259).

FIG. 259. — Un Arachnide, l'Épeire diadème construisant sa toile.

Les Myriapodes, ou Centipèdes, ont un long corps composé de nombreux segments; chacun de ces segments porte une paire de pattes (fig. 260).

FIG. 260. — Un Myriapode, le *Lithobius forficatus*, grandeur naturelle (d'après l'*Histoire naturelle* de M. Focillon).

Les Insectes ont trois paires de pattes. Ce sont des animaux aériens; ils respirent au moyen de trachées ou tubes à air,

Digitized by Google

qui se ramifient dans leurs organes intérieurs. Leur corps est divisé en trois parties, la tête, le corselet et l'abdomen (fig. 261).

FIG. 261. — Un insecte, la Mouche bleue ou Mouche à viande.

Outre les trois paires de pattes, le corselet porte ordinairement deux ou quatre ailes. Les anciens naturalistes avaient fait des insectes non ailés un ordre spécial, celui des Aptères ; mais des observations plus complètes ont prouvé que chacune des grandes familles, ou des groupes qui composent les insectes, contiennent des formes aptères. Le Ver luisant femelle, les Fourmis en sont des exemples familiers.

Cependant, quoique la présence des ailes soit la règle, et que la division des insectes en ordres soient fondée en grande partie sur les caractères présentés par ces organes importants, il n'en est pas moins vrai qu'ils n'existent que dans l'état parfait de l'animal ; on ne connaît pas d'insecte qui naisse avec des ailes.

Ce n'est point seulement par l'absence d'ailes, c'est aussi, ordinairement, par bien d'autres points importants que le jeune insecte diffère de la forme parfaite ; les divers changements qu'il subit sont désignés sous le nom de métamorphoses. L'opinion générale des entomologistes est qu'on peut diviser la vie de tous les insectes en quatre périodes bien distinctes : l'*œuf*, la *larve* ou *chenille*, la *pupa* ou *chrysalide*, et enfin l'*imago* ou *insecte parfait* (fig. 262, 263 et 264). Il est

FIG. 262. — Larve ou chenille du *Vanesse Io* ou Grand paon de jour, grandeur naturelle (d'après l'*Histoire naturelle* de M. Focillon).

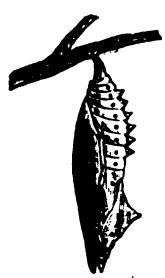


FIG. 263. — Chrysalide du *Vanesse Io* ou Papillon grand paon de jour, grandeur naturelle (d'après l'*Histoire naturelle* de M. Focillon).

vrai que dans quelques ordres fort connus, par exemple les Coléoptères (Scarabées), les Hyménoptères (Abeilles), les Lépidoptères (Papillons), et les Diptères (Mouches), la larve diffère

FIG. 264. — Le Papillon grand paon de jour ou *Vanesse Io*, grandeur naturelle (d'après l'*Histoire naturelle* de M. Focillon).

beaucoup plus de l'insecte parfait que dans d'autres ordres, comme, par exemple, les Orthoptères (Sauterelles), ou les Hétéroptères (Punaises) ; mais, même dans ces derniers ordres, les périodes sont bien marquées : la larve, par l'absence entière d'ailes ; la *pupa* par la possession d'ailes rudimentaires ; enfin l'insecte parfait par des ailes parfaites.

Quand les habitudes sont semblables on rencontre des larves semblables dans des familles bien différentes d'insectes. Ainsi parmi les scarabées, le *Melolontha* (Hanneton), l'*Anobium* (Vrillette) et le *Chlamys* se ressemblent beaucoup à l'état de larves quoiqu'ils appartiennent à des familles de

FIG. 265. — Ver blanc ou larve du Hanneton commun, grandeur naturelle (d'après l'*Histoire naturelle* de M. Focillon).

Scarabées parfaitement distinctes, c'est-à-dire les *Melolonthidæ*, les *Ptinidæ* et les *Chrysomelidæ*.

Il en est ainsi même pour les larves qui appartiennent à des ordres d'insectes différents. Les larves qui, pour employer l'expression de M. Herbert Spencer, « sont en relation symétrique avec leur entourage » et qui sont enveloppées de leur nourriture, ou auxquelles cette nourriture est apportée, sont grasses, sans pattes, et ne constituent en somme que de gros vers blanchâtres. Telles sont presque toutes les larves de mouches. Telles sont aussi presque toutes les larves hyménoptères, soit qu'elles habitent d'autres insectes, comme celles de l'Ichneumon, soit qu'elles vivent à l'intérieur de noix de galle, comme celles des *Cynipsidæ*, ou qu'elles soient enfermées dans des cellules et nourries par des insectes parfaits, comme celles des abeilles ; pratiquement elles dévient peu de ce qu'on peut appeler le type normal. Les larves des Scarabées, au contraire, sont ordinairement d'un caractère très-différent, mais il y a un groupe, celui des Charançons, qui se nourrissent à l'intérieur d'autres corps. Le ver blanc d'un Charançon, se nourrissant à l'intérieur d'une noix, est dans des conditions très-semblables à celles d'une larve *Cynips* dans une noix de galle, ou à celles d'une larve *Anthrax* vivant en parasite dans une cellule d'abeille ; aussi trouvons-nous que ces larves sont presque

Digitized by Google

identiquement semblables quoiqu'elles appartiennent à trois ordres différents d'insectes.

C'est à ce groupe qu'appartiennent la plupart des larves hyménoptères; deux groupes cependant font exception, les *Tenthredinidæ* et les *Siricidæ*. Les larves des *Tenthredinidæ*, comme celles des papillons, se nourrissent de feuilles, et par la forme générale du corps, possédant trois paires de pattes et plusieurs paires de pro-pattes abdominales, elles ressemblent beaucoup aux chenilles ordinaires et diffèrent extrêmement du type commun des larves hyménoptères. Les larves des *Siricidæ*, qui percent le bois, ont des pattes thoraciques, et ressemblent beaucoup aux larves de quelques scarabées qui percent aussi le bois.

On peut conclure de ces faits que la forme d'une larve dépend bien plus des conditions dans lesquelles elle vit que de la forme qu'elle est destinée à revêtir plus tard. Un exemple, qui le prouve plus clairement encore, est celui du *Sitaris*, un petit scarabée, parasite d'une espèce d'Abeille solitaire (*Anthophora*), Scarabée dont les habitudes ont été observées avec soin et admirablement décrites par un naturaliste français, M. Fabre. La *Sitaris* femelle, qui atteint sa maturité au mois d'août, ne s'éloigne jamais des terrains sablonneux dans lesquels l'*Anthophora* aime à se creuser un réduit. Au mois d'août aucune *Anthophora* n'est dehors, l'époque de la maturité de ces insectes n'étant pas en automne, mais au printemps; aussi quoique l'abeille soit si nécessaire au scarabée, nous avons tout d'abord à constater ce fait remarquable qu'aucune *Sitaris* parfaite n'a jamais vu une de ces abeilles, et il est probable qu'aucune *Anthophora* n'a jamais vu non plus une *Sitaris*. Cette dernière dépose ses œufs, au nombre de 2500 à peu près, dans le sillon qui conduit à la cellule de l'*Anthophora*. Ces œufs éclosent en septembre et il en sort des petites larves noires, actives, ayant à peu près un vingt-cinquième de pouce de longueur; elles ont quatre yeux, deux antennes assez longues et six pattes bien formées. Mais quoique évidemment adaptées à une vie active, les jeunes larves restent tranquillement jusqu'au printemps au milieu des débris des coquilles d'œufs vides. C'est alors que l'*Anthophora* arrive à la maturité et au moment où elle passe dans le sillon, en sortant de la cellule, les jeunes larves sautent sur elle. Les abeilles mâles, cependant, quittent leurs cellules un mois environ avant les femelles; la larve se trouve donc sur le mâle qu'elle quitte à la première occasion, pour s'établir sur la femelle. Quant à elle, pauvre créature, ignorant son malheur, elle se met à creuser comme à l'ordinaire, construit sa cellule et la remplit de miel. Sur le miel elle dépose son œuf, mais à ce moment la larve de la *Sitaris* saute sur l'œuf et vogue dessus comme sur un radeau. Puis elle ouvre l'œuf, le dévore, du même coup détruisant un rival et faisant son premier repas. Comme depuis sept mois cette larve jeûne on peut supposer que ce premier repas lui cause un sensible plaisir; mais il lui est en outre nécessaire pour d'autres raisons. La larve, quoique sous sa première forme, admirablement adaptée pour son genre de vie, ne pourrait pas vivre sur le miel dans une cellule d'abeille. Il lui faut donc changer de forme. L'accroissement de taille, résultat de son premier repas, lui permet de changer de peau et elle prend une forme bien différente de la précédente. Les yeux ont disparu, les pattes et les antennes ne sont plus que rudimentaires. La bouche est placée de telle façon que, quand la larve flotte sur le miel, elle se trouve juste au-dessous de la surface, tandis que les stigmates sont placés sur le dos de manière à être au-dessus. Enfin, le ventre est très-protubérant et empêche la larve de rouler, car si cela arrivait, le miel pourrait boucher les stigmates et l'insecte serait suffoqué. Après avoir vécu trente-cinq ou quarante jours dans cette condition, période pendant laquelle elle gagne considérablement en grandeur, la larve cesse de manger, se contracte en un corps ovoïde ressemblant beaucoup à la *pupa* de la mouche. A l'intérieur de ce corps il se forme une nouvelle peau et la larve revêt une quatrième forme, qui ressemble assez à la seconde. Après quatre ou cinq semaines, elle redevient chrysalide, et en sort enfin, sous la forme parfaite.

Nous trouvons dans ce cas, d'abord un remarquable changement de forme accompagnant un changement d'habitudes, et enfin une vie divisée en plus de trois états bien marqués. M. Fabre donne à ce phénomène le nom d'*hypermétamorphose*. On a regardé pendant quelque temps les changements des *Sitaris* et des *Meloe* comme des cas exceptionnels; mais, en 1862, j'ai étudié avec soin cette question, poussé à cette étude par l'observation d'un cas quelque peu analogue chez les *Lonchoptera*, genre de petites mouches. J'ai remarqué en outre, que chez beaucoup d'espèces des Orthoptères et des Hémiptères, les changements sont bien moins définis, bien plus graduels, qu'on ne l'avait supposé jusqu'à présent.

Nous pouvons prendre comme exemple les transformations des *Chloeon* (*Ephemeridæ*), qui n'atteignent leur forme parfaite qu'après plus de vingt changements de peau, tous accompagnés d'un léger changement de forme. Dans son état préparatoire, cet insecte vit dans l'eau, mais dans les deux derniers états il devient aérien. J'ai été assez heureux pour le voir, bien des fois, passer ainsi de la vie aquatique à la vie aérienne : la larve flotte à la surface de l'eau; tout à coup la peau se déchire et l'insecte s'envole. Le tout occupe moins de dix secondes.

Je désire tout particulièrement vous faire remarquer dans ce cas, d'abord que ces transformations sont graduelles; et en second lieu que quelques-unes n'ont aucun rapport avec la forme de l'insecte parfait, mais présentent tout à fait le caractère d'une adaptation. Ainsi la jeune larve naît sans branchies et avec deux appendices caudals. Graduellement elle acquiert une queue mince et sept paires de branchies; mais l'insecte parfait a deux queues et pas de branchies. Ainsi donc les changements que subissent les insectes sont de deux sortes, les uns ont le caractère du développement, les autres celui de l'adaptation.

Les forces extérieures agissent sur les larves autant que sur les insectes parfaits. Nous pouvons ainsi arriver à comprendre ce fait remarquable que quelques animaux, très-différents les uns des autres quand ils sont jeunes, sont très-semblables quand ils ont atteint leur maturité.

Quelle est la nature, quelles sont les causes des métamorphoses des insectes? On pourrait étudier ce sujet en faisant trois questions :

1° Quelle a pu être l'origine de ces changements de forme?

2° Pourquoi ces changements présentent-ils chez les insectes un caractère si abrupt?

3° Pourquoi l'état de chrysalide, période d'immobilité presque absolue, intervient-il entre la larve active et l'insecte parfait plus actif encore?

1° Les changements de forme dépendent de l'état dans lequel quelques insectes quittent l'œuf. Il y a lieu de croire

Digitized by Google

que tous les insectes passent par l'état de gros ver charnu, et acquièrent subséquemment des pattes. Quelques-uns, cependant, naissent dans le premier état, tandis que d'autres restent dans l'œuf jusqu'à ce qu'ils atteignent le second. Dans le premier cas, les transformations additionnelles sont produites par ce fait que les forces extérieures n'affectent pas la larve de la même manière que l'insecte parfait; il y a donc une tendance à une plus grande différence.

2° La soudaineté du changement est plus apparente que réelle. La transformation effective, en elle-même, n'est que le déchirement du rideau, le rejet de la vieille peau, déchirement au moyen duquel des changements qui se préparaient depuis des jours, ou même des semaines, sont rendus visibles. En effet, il ne peut pas y avoir de grands changements chez les insectes, sans une mue. Les insectes n'ont pas d'os et les muscles sont attachés à la peau, qui doit par conséquent être assez résistante pour leur donner un *fulcrum* suffisant et solide. Il s'ensuit qu'aucun changement de forme ne peut avoir lieu sans un changement de peau. Nous avons vu que chez les *Chloeon* chaque mue est accompagnée d'un léger changement. Chez les chenilles, au contraire, il y a peu de variations pendant la croissance, et les changements se concentrent, pour ainsi dire, dans les deux dernières mues. Il y a là un avantage qu'il est facile de comprendre : la bouche, l'appareil digestif et tous les autres organes de la vie, sont très-différents de ce qu'ils seront chez l'insecte parfait; et si la transformation d'un type dans l'autre s'accomplissait par degrés progressifs et lents, l'insecte serait exposé à périr de faim au milieu de l'abondance.

3° Des considérations semblables jettent beaucoup de lumière sur l'immobilité de la chrysalide. Les organes changent alors si rapidement qu'ils ne peuvent remplir leurs fonctions. Quand les changements sont gradués, comme chez les *Orthoptera*, etc., il n'y a pas de période d'immobilité.

Les générations alternantes présentent une grande analogie avec les métamorphoses. Beaucoup d'espèces d'animaux inférieurs sont représentées par deux formes entièrement dissemblables; mais jusqu'à présent du moins, que je sache, on n'a encore donné aucune explication de ce phénomène si remarquable.

Les métamorphoses des insectes nous fournissent un indice. Quand un animal naît dans un état si peu avancé, que les forces extérieures agissent sur lui d'une certaine façon, tandis qu'elles agissent d'une autre façon sur l'animal parfait, elles tendent à produire entre les deux états des différences de plus en plus grandes. Quand les organes extérieurs arrivent à leur maturité avant que les organes de la génération soient complétement développés, nous avons des métamorphoses; si le contraire a lieu, nous avons des générations alternantes.

Les mêmes considérations expliquent comment il se fait que dans les générations alternantes la reproduction est presque invariablement agamique dans une des formes. C'est parce que l'imprégnation exige la perfection et des organes extérieurs et des organes intérieurs; et si le phénomène provient, comme nous venons de le suggérer, de ce que les organes intérieurs arrivent à la maturité avant les organes extérieurs, l'imprégnation ne peut avoir lieu, et la reproduction ne peut se faire que dans les espèces qui sont douées du pouvoir de multiplication agamique.

Quoi qu'il en soit, les insectes offrent toutes les gradations entre la simple croissance et le phénomène connu sous le nom de génération alternante. Chez les Orthoptères sans ailes, le jeune ressemble si parfaitement à l'insecte parfait qu'il n'y a rien de ce que, dans le langage ordinaire, on pourrait appeler même une métamorphose. Chez les Orthoptères qui finissent par acquérir des ailes, il y a, bien entendu, une différence considérable. Chez les *Chloeon*, quoique les changements soient gradués, la différence entre la larve et l'insecte parfait est très-considérable; nous avons vu que l'action des forces extérieures produit des changements, qui n'ont aucun rapport avec la forme de l'insecte parfait.

Les chenilles nous présentent le type des métamorphoses. Jusqu'à ces derniers temps, cependant, nous ne connaissions aucun exemple d'une larve produisant plus d'un insecte parfait. Les insectes ne se multiplient jamais par bourgeons, et presque toujours la forme extérieure est acquise avant que les organes de la génération soient arrivés à leur maturité. Récemment cependant, le professeur Wagner, de Kasan, a découvert que les larves de certaines Cécidomyies ont la faculté de produire d'autres larves, de telle sorte qu'elles présentent un véritable cas de génération alternante. Ainsi donc nous voyons que les insectes présentent toutes les gradations depuis la croissance jusqu'à la génération alternante; nous voyons comment, les métamorphoses et les générations alternantes ont pu trouver leur source dans un seul fait, et nous croyons qu'on a tout lieu de supposer que, dans le cours des temps, ce dernier phénomène peut devenir plus fréquent qu'il ne l'est à présent.

En outre, il est évident que dans le règne animal et dans le règne végétal, il y a deux sortes de dimorphisme. Ce terme s'applique ordinairement à ces cas dans lesquels, comme la Fourmi et l'Abeille parmi les animaux, les *Primula*

Fig. 266. — Abeille mâle.

Fig. 267. — Abeille femelle.

parmi les plantes, les individus parfaits se subdivisent en deux formes. En un mot, les sexes eux-mêmes constituent une sorte de dimorphisme. Dans ce cas les formes n'alternent pas. Quand, cependant, les forces extérieures agissent d'une certaine manière sur l'animal jeune et d'une autre manière sur l'animal parfait, elles tendent à produire des formes différentes qui ne se complètent pas, mais qui se succèdent.

Digitized by Google

J'ai déjà proposé de distinguer cette forme de dimorphisme sous le nom de *diéidisme* ou de *polyéidisme*. Dans le polymorphisme la chaîne des êtres se divise à l'extrême; dans le polyéidisme elle se compose de chaînons dissemblables.

Les principales conclusions que je voulais vous présenter ce soir sont celles-ci :

1° Que la présence des métamorphoses chez les insectes dépend, très-considérablement tout au moins, de l'état plus ou moins avancé dans lequel ils sortent de l'œuf.

2° Que les métamorphoses sont de deux sortes, métamorphoses de développement et métamorphoses d'adaptation.

3° Que la soudaineté apparente des métamorphoses dépend beaucoup de la dureté de la peau des insectes, dureté qui s'oppose à un changement graduel de forme, et qui est nécessaire pour prêter un soutien suffisant aux muscles.

4° Que l'immobilité de la *pupa* ou chrysalide provient de la rapidité des changements qui s'opèrent dans l'insecte.

5° Que quoique la plupart des insectes passent par trois états bien définis après avoir quitté l'œuf, il y en a cependant beaucoup qui arrivent à la maturité par un nombre indéfini de légers changements.

6° Que la forme de la larve de chaque espèce dépend jusqu'à un certain point des conditions dans lesquelles elle vit. Quand un animal sort de l'œuf sous une forme imparfaite, les forces extérieures agissant sur lui sont différentes de celles qui affectent la forme parfaite; ainsi se produisent dans le jeune animal des changements plus en rapport avec les besoins présents qu'avec la forme qu'il est destiné à revêtir.

7° Quand les organes extérieurs arrivent à cette forme parfaite avant que les organes de la génération soient parfaits, on appelle ces changements des métamorphoses; quand, au contraire, les organes de la génération sont parfaits avant les organes extérieurs, ou quand l'animal a la faculté de se reproduire par bourgeons, alors on connaît ce phénomène sous le nom de génération alternante. Les insectes présentent toutes les gradations, depuis la simple croissance jusqu'à la génération alternante.

8° Ainsi donc il paraît probable que ce phénomène remarquable a pu provenir de cette simple circonstance, que certains animaux sortent de l'œuf dans un état de développement très-imparfait; et que les forces extérieures, agissant sur le jeune animal, sont différentes de celles qui affectent l'animal parfait.

9° Le dimorphisme ainsi produit diffère par des points très-importants du dimorphisme de la forme parfaite, que nous trouvons par exemple, chez les fourmis et les abeilles; il serait utile de distinguer ce dimorphisme par un nom différent.

Si le temps me l'avait permis, j'aurais désiré étudier avec vous les métamorphoses des insectes sous un autre aspect. Dans un ou deux cas, il est vrai, j'ai esquissé très-brièvement, très-imparfaitement, les habitudes et le mode de vie de quelques insectes, mais on pourrait remplir un volume par de semblables études. Les différentes manières qu'emploient différents insectes pour pourvoir aux besoins de leurs petits sont très-remarquables; d'autant plus remarquables que ces besoins diffèrent essentiellement de ceux de l'insecte parfait lui-même.

Ainsi le Papillon qui se nourrit de miel, et qui a vécu de feuilles, dépose ses œufs sur les petites branches. Il comprend sans doute que le miel ne conviendra pas à la jeune larve et que les feuilles se faneront et tomberont avant que le printemps revienne.

Le Cousin qui vit dans l'air et qui se nourrit de sang dépose ses œufs à la surface de l'eau; la mouche de maison ordinaire, qui aime tant le sucre, sait qu'une nourriture bien différente est nécessaire à ses petits.

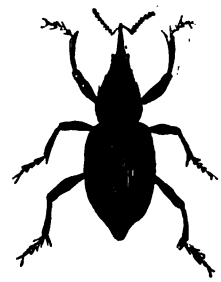


Fig. 268. — Charançon du blé (longueur 0m,005) (d'après l'*Histoire naturelle* de M. Focillon).

Le Charançon choisit l'embryon de la noix; le *Rhipiphora* brave les dangers du nid de la Guêpe; l'*Œstrus* dépose ses

Fig. 269. — Papillon de l'œstre du cheval.

œufs sur les bestiaux; l'Ichneumon dans des chenilles; la Mouche de la noix de galle dans le bourgeon encore presque imperceptible de la noix; et quelques insectes mêmes dans les œufs d'autres insectes.

Ordinairement les larves cherchent elles-mêmes leur nour-

Fig. 270. — Larve de l'Œstre du cheval (partie antérieure).

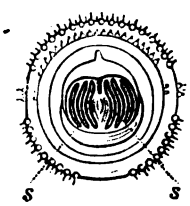


Fig. 271. — Larve de l'Œstre du cheval (partie postérieure).

riture; mais dans quelques cas la mère prépare cette nourriture pour son petit. Ainsi la Guêpe solitaire bâtit une cellule et la remplit avec d'autres insectes. Mais si elle les y emprisonnait vivants, ils détruiraient infailliblement l'œuf en se débattant; d'un autre côté, si elle les tuait, ils se corrompraient bientôt, et la jeune larve, quand elle viendrait au monde, ne trouverait plus qu'une masse corrompue au lieu de provisions saines. Pour éviter ces deux inconvénients, la Guêpe pique sa victime de manière à lui percer le centre du système nerveux, et le poison qu'elle introduit ainsi dans ses tissus a le don de la paralyser sans la tuer. Ainsi privé de tout mouvement, mais encore vivant, l'insecte reste immobile quelques semaines en conservant toute sa fraîcheur.

Digitized by Google

Mais les Fourmis sont peut-être les plus remarquables de tous les insectes. Elles soignent leurs petits, bâtissent des maisons, font la guerre, entretiennent des esclaves, ont des animaux domestiques, et l'on dit même que, dans quelques cas, elles cultivent le sol (1).

Et il ne faudrait pas supposer que, même à présent, les habitudes des insectes nous soient bien connues. Malgré les travaux de Réaumur, de de Geer, des deux Huber et de bien d'autres excellents observateurs, il reste encore un vaste champ à explorer; les observations déjà faites sont loin d'avoir épuisé la mine, elles n'ont fait que prouver la richesse de la veine.

Traduit avec l'approbation de sir JOHN LUBBOCK,
par E. BARBIER.

UNIVERSITÉ DE BERLIN.

ANATOMIE PATHOLOGIQUE.

COURS DE M. R. VIRCHOW
(Membre de la Chambre des députés de Prusse).

De la nature des tumeurs.

Toute connaissance exacte des tumeurs doit reposer d'abord sur des données précises anatomo-génésiques, comme cela se fait dans les autres branches des sciences naturelles organiques. Cette science s'est fait jour depuis qu'ont été fondées l'anatomie générale et l'embryologie et que les principes de l'histologie ont été posés. Jusque-là on se contentait d'ordinaire des comparaisons les plus grossières lorsqu'on en faisait entre la substance des tumeurs et celles de quelque partie du corps; on se bornait en général à séparer les tumeurs tout à fait dures et celles qui étaient complétement ou à peu près liquides; quant à toutes les tumeurs intermédiaires, formant la grande classe des tumeurs molles, on les désignait sous le nom de *sarcome* (tumeurs charnues), expression dénuée de sens précis et tombée depuis cette époque en discrédit; sarcome voulait simplement dire que la tumeur avait une certaine analogie avec ce que l'on entendait par chair. Mais si l'on voulait appeler chair tout ce qui est mou dans le corps, le champ de la comparaison serait large, et ainsi s'explique aussi l'immense étendue qu'a atteinte la série des sarcomes.

Lorsqu'on eut séparé les différents tissus, autant que cela pouvait se faire sans procéder à l'examen plus minutieux des parties élémentaires qui les composent, l'étude des tumeurs fit un pas important; pour un grand nombre d'entre elles, l'effet fut décisif. Bichat lui-même ne nous a laissé que de très-courtes leçons d'anatomie pathologique générale; mais celles-ci renferment déjà les principes de la doctrine qui a prévalu ensuite pendant près d'un demi-siècle et qui n'a été, que je sache, plus nettement formulée que par Dupuytren. On divisa alors les tumeurs en deux grandes classes : celles qui sont analogues à des tissus connus du corps et celles qui semblent présenter une structure particulière, différente par leur nature et leur structure des tissus normaux du corps. Les premières formaient, avec d'autres néoplasmes, une classe qui comprenait, d'après la terminologie française, les *formations nouvelles accidentelles*. Les autres s'appelaient les productions *sui generis*, et l'on revint à l'idée de Harvey, que, semblables à des productions parasites, comme on les rencontre dans le règne végétal, elles se développent sur le corps, y ont leur existence propre et vivent indépendamment du corps auquel elles adhèrent.

L'idée de la *nature parasitaire* de quelques tumeurs a fait penser à plusieurs médecins que leur vie propre avait une signification plus large qu'on ne le reconnaissait en ne considérant les tumeurs que comme des parties du corps. On alla jusqu'à croire, dans les tumeurs, à des êtres d'un genre particulier, rappelant celui des entozoaires; il y a même eu des savants très-expérimentés qui tinrent les tumeurs pour de vrais entozoaires et particulièrement pour des hydatides qui se remplissaient plus tard et où la substance de la tumeur apparaissait à la place du liquide. C'est ainsi que, dans notre siècle, deux médecins anglais, Adam et Baron (et sur plus d'un point des observateurs français se sont ralliés à eux), ont rangé toute une série d'espèces de tumeurs dans la catégorie des productions entozoaires. On comprend l'importance que pouvaient prendre de telles théories, en se rappelant qu'à cette époque toute une série de productions, qui avaient été auparavant regardées comme des tumeurs ou kystes, fut reconnue comme de vrais entozoaires. Lorsqu'on apprit à distinguer les tumeurs cystiques et enkystées (*tumores cystici*) des vers cestodes (*entozoa cystica*), il était naturel que l'on restât, un certain temps, dans le doute sur les limites réelles qui séparent ces deux productions. Pour une certaine catégorie d'entre elles (les cysticerques, les échinocoques, les cœnures), on avait reconnu que c'étaient réellement des animaux vivants, bien qu'on ne pût distinguer d'abord chez quelques-uns ni tête ni organisation spéciale; ces derniers furent compris sous le nom d'*acéphalocystes*. Alors pouvait surgir l'idée que d'autres kystes ou poches, dont on n'avait pas encore reconnu la nature, fussent aussi de semblables acéphalocystes qui avaient leur vie propre et existaient comme des parasites dans le corps, et l'on arrivait aisément à l'idée que dans l'intérieur de telles vessies il se forme de la chair par une organisation progressive, et que même certaines tumeurs plus solides, dont la nature était très-difficile à concevoir, ne sont dans toute leur épaisseur que des productions entozoaires.

Toutes ces manières de voir procèdent du point de vue, en lui très-juste, du *parasitisme*, dont la démonstration est facile par l'observation comme aussi par la théorie et sur lequel je reviendrai spécialement. Mais l'erreur a été de remonter aussitôt à des espèces animales particulières pour expliquer l'indépendance qui n'est toujours que relative des tumeurs, et l'on en acquit bientôt la conviction, en pénétrant plus avant dans la connaissance exacte de leur structure intime. En tous cas, tous les observateurs étaient d'accord pour reconnaître qu'un grand nombre de tumeurs *sui generis* ne répondaient pas aux parties du corps et avaient tout au plus une certaine analogie avec elles. Les différents observateurs étaient dans le doute sur les bornes qu'ils devaient assigner à cette catégorie de tumeurs. Bien que Laennec désignât encore un certain nombre de tumeurs sous le nom d'*encéphaloïdes*, parce que leur aspect extérieur rappelle celui de la substance cérébrale, que Maunoir, suivant le même principe, considérât les sarcomes médullaires comme des accumulations de substance nerveuse épanchée, et que, bien après, Ehrenberg eût cher-

(1) Voyez sur les *Fourmis* la conférence de M. Ch. Lespès dans le n° 16 (17 mars 1866) de la *Revue des Cours scientifiques*, p. 257.

Digitized by Google

ché à établir l'identité des éléments microscopiques des deux parts, cependant le plus grand nombre des observateurs partageait l'opinion que cette similitude n'était qu'extérieure et ne tenait pas à une sorte de reproduction de véritable substance nerveuse. On s'arrêta finalement à l'idée que bon nombre de tumeurs renfermaient des productions réellement *étrangères, toutes particulières.*

On chercha alors à établir des subdivisions dans ces deux classes (les formations nouvelles accidentelles et les formations *sui generis*) suivant que l'on avait des caractères particuliers pour distinguer les différentes formes.

C'est dans cette direction que furent faites en particulier les recherches des élèves de Bichat et de ses successeurs, qui étendirent notablement le cercle de nos connaissances; ce furent entre autres les Dupuytren, les Laennec, les Cruveilhier, et l'un des plus méritants, Lobstein, le célèbre clinicien et anatomo-pathologiste de Strasbourg, qui, grâce à la situation de l'École dans laquelle il professait, était placé entre la France et l'Allemagne et a été le médiateur principal entre nous et nos voisins d'outre-Rhin. Il a désigné nettement les deux grandes classes de tumeurs, tout en en facilitant la compréhension, alors qu'il donna aux premières le nom d'*homœoplasie*, en ce sens qu'ici il se forme des produits identiques ou analogues aux parties du corps, et qu'il appela les autres *hétéroplasie*, c'est-à-dire qu'il se développe là des produits particuliers, différents de ceux que renferme le corps humain à l'état normal.

Tandis qu'on arrivait ainsi à une sorte d'uniformité dans la division, on s'arrêta en général, pour ce qui est de la formation, du développement des tumeurs, aux idées qui régnaient déjà dans les anciens temps de la médecine et qui avaient surtout pris une extension considérable grâce aux physiologistes anglais depuis Hewson, à savoir que le suc nutritif, la lymphe plastique, sortait en certains points des vaisseaux et donnait naissance aux produits de nouvelle formation. Lobstein fit un pas de plus. Il croyait qu'on devait distinguer deux sortes de substance productrice : l'une qui était le germe des produits homœoplastiques et qui se distinguait dès l'abord par une composition meilleure; aussi l'appelait-il *euplastique;* et l'autre, douée dès l'abord d'une composition plus fâcheuse, et qu'il appelait pour cette raison *cacoplastique*. Cette étude se trouvait ainsi transportée naturellement en plein domaine de la pathologie humorale; car, en revenant finalement au sang et aux sucs plastiques, on était en réalité dans le domaine de l'ancienne pathologie humorale, et le développement et la nature particulière des tumeurs retomba sous la dépendance des sucs fournis par le sang, qui devait plus ou moins les renfermer préformés. Lobstein a, il est vrai, restreint fortement cette opinion, basée sur la pathologie humorale, en ce qu'il y a introduit la doctrine de la force formatrice, telle que Blumenbach l'avait formulée; mais on ne saurait nier que ce ne soit qu'une interprétation philosophique et que toute la théorie ne repose en réalité sur les données de l'humorisme.

En Allemagne aussi on a suivi la même direction, en rapprochant une partie des tumeurs des tissus normaux et en en distinguant les autres. Les partisans les plus fervents de la doctrine française, tels que Heusinger, aujourd'hui encore professeur à Marburg, et J. Fr. Meckel, ont admis cette division comme se comprenant par elle-même; le premier et le plus important problème dont ils lui demandaient la solution était d'établir aussi positivement que possible les preuves de l'identité des formations homœoplastiques avec les tissus normaux; ils n'arrivèrent pas à pénétrer plus avant l'essence de l'hétéroplasie. Un seul observateur, que je sache, nia cette différence : Fleischmann prétendait ne voir dans les tumeurs que des « reproductions des parties organiques normales de ce même corps dans lequel elles se développent et persistent ». Il chercha, entre autres, à démontrer que certains polypes des muqueuses étaient des reproductions accidentelles des glandes lymphatiques. Meckel combattit cette tentative et son autorité fut décisive.

Tandis que l'école de Bichat se répandait ainsi dans une certaine mesure parmi nous, les observateurs anglais lancèrent une opinion un peu différente sur la question, suivant en cela les idées de John Hunter, qui avait appliqué à la néoplasie pathologique les lois de développement tirées de l'embryogénie du poulet. Il faut tout d'abord ici se rappeler que, depuis Haller, la formation du système vasculaire était considérée, sinon comme le premier point, du moins comme le plus important du développement embryonaire. Le *punctum saliens*, premier rudiment du cœur et des vaisseaux, était, pour les anciens embryologistes, le début de l'organisation; on se figurait tout simplement que tout le développement ultérieur était à rapporter à la production de vaisseaux dans le blastème, vaisseaux qui étaient partout et toujours les pionniers de l'organisation. Une organisation ne pouvait se produire que là où existaient des vaisseaux qui en fournissaient les matériaux, à l'état soit de sang coagulé, soit de « lymphe plastique » épanchée. Cette doctrine reposait également sur l'humorisme, mais suivait une autre direction.

Cette opinion conduisit à une observation plus attentive de la distribution vasculaire et de la richesse en vaisseaux des différentes tumeurs. Elle fut surtout admise par les chirurgiens, pour lesquels la question de la richesse vasculaire d'une tumeur et celle de ses rapports avec les vaisseaux normaux a une si grande importance dans les opérations. On croyait qu'il y avait ici des différences notables, tant pour ce qui est des vaisseaux eux-mêmes que de leur connexion avec ceux des parties voisines. Quant à l'application qui en fut faite à la classification, elle le fut surtout dans notre chirurgie systématique allemande, et la meilleure preuve s'en trouve dans les leçons de l'ancien directeur de la Charité, Kluge; d'après lui, une partie des tumeurs se distinguaient par leur vitalité périphérique, c'est-à-dire par une circulation périphérique, et l'autre par un foyer vital central ou circulation centrale. Pour les premières, le système vasculaire situé à la périphérie de la tumeur, dont il formait en quelque sorte une enveloppe, donnait lieu, vers l'intérieur de la tumeur, à un produit de sécrétion plus ou moins organisé, plus ou moins mobile, peut-être même tout à fait liquide. Telle était la classe des tumeurs dites *enkystées*, qu'on étendit tellement qu'on y rangea non-seulement l'hygroma, l'athérome et le meliceris, mais encore certains stéatomes et lipomes, qui présentaient peu ou point de vaisseaux dans leur épaisseur, tandis qu'à leur périphérie on trouvait un riche réseau sanguin et une enveloppe membraneuse assez épaisse. On avait une opinion tout opposée sur les *tumeurs solides*, dans lesquelles les vaisseaux occupaient l'intérieur même de la tumeur, s'y distribuaient et y entretenaient une circulation active, comme c'est le cas pour les squirrhes, les polypes, les verrues et surtout les tumeurs sanguines

Digitized by Google

spongieuses (*fungus hæmatodes*), qui ont été l'objet de tant de discussions. Ces tumeurs s'accroissent, disait-on, du centre vers la périphérie; elles se mortifient d'abord à la périphérie, parce que le courant vital, venant du centre, y est à son minimum.

Mais aussitôt surgit l'idée que ces vaisseaux n'étaient pas en connexion permanente et en libre communication avec les vaisseaux du corps: au contraire, les vaisseaux de la tumeur semblaient être issus, comme quelque chose de tout individuel, de la substance organique exsudée, de même que, dans l'embryon du poulet, l'*area vasculosa* se forme de toutes pièces aux dépens de la substance préexistante; il se serait développé ainsi, de toute pièce, dans la tumeur, un cœur et une circulation indépendante, qui plus tard pourraient entrer en communication quelconque avec l'ancienne circulation. Le système vasculaire ainsi produit était, pensait-on, « interposé entre les terminaisons du système vasculaire des parties atteintes, comme le système de la veine porte l'est entre les terminaisons des artères abdominales et la veine cave inférieure. » J'insiste sur ce point, parce que, ainsi qu'on le verra plus loin, quelques observateurs des plus remarquables des temps modernes ont émis des opinions tout à fait semblables, en certains points du moins, et que nous ne sommes pas encore aujourd'hui en mesure de les considérer comme tout à fait abandonnées.

On conçoit que, d'après cette manière de voir, la texture intime des tumeurs ait été d'une importance toute secondaire, en tant qu'elle ne tenait pas aux vaisseaux; la question principale était de savoir comment se comporte le système vasculaire. Cependant, on était édifié sur ce point, à savoir que, en général du moins, les tumeurs à système vasculaire propre étaient aussi celles qui déviaient le plus du type normal; le parasitisme devenait par là signe de malignité, tandis que les autres formaient en général la classe des tumeurs bénignes ou innocentes. On voit, d'après cela que, dans cette théorie, comme dans celle qui a été exposée par nous avant elle, l'une des classes correspond plus aux tumeurs dont les éléments sont analogues à ceux du corps, et l'autre à celles dont les parties constituantes ne rappellent pas celles du corps ou ont une nature propre tout individuelle.

Si l'on considère que depuis longtemps la plus grande partie des tumeurs qui appartiennent à cette dernière catégorie sont regardées comme étant l'expression en général d'une altération profonde du corps, et en particulier d'une altération étendue de la masse sanguine, d'une *cacochymie*, d'une *dyscrasie* particulière, on comprendra facilement que ces recherches confirmaient de plus en plus l'opinion que nous avions affaire à quelque chose de tout à fait extraordinaire, à un acte morbide diamétralement opposé à la vie physiologique. Lorsqu'après cela, il y a une trentaine d'années principalement, on s'efforçait toujours davantage d'étendre la connaissance des tumeurs par l'application du microscope et des réactifs chimiques, tout le monde s'attendait à ce que l'on arriverait à isoler, par la voie de la chimie, certaines substances, par exemple une substance cancéreuse particulière, une carcinomatine ou quelque autre du même genre; on croyait aussi que l'observation microscopique fournirait des éléments morphologiques spéciaux, qui pourraient *en même temps* servir de *signes diagnostiques*.

On avait déjà fait de nombreuses tentatives par l'analyse chimique, notamment à Paris et à Strasbourg; on avait examiné chimiquement toutes les tumeurs possibles; mais, malgré la collaboration des chimistes les plus célèbres, comme Thenard, Vauquelin, Lassaigne, il faut avouer que le résultat de leurs efforts est resté bien au-dessous de ce qu'on pouvait en attendre, même pour l'époque. On ne savait pas encore poser les vrais termes de la question. Ce qui est certain, c'est que l'on ne trouva rien que l'on pût donner comme *substance spécifique*, comme substance particulière aux tumeurs; on finit par arriver à la conclusion que, plus la nature de la tumeur était grave, plus elle renfermait d'éléments albumineux; tandis que c'est précisément bien plus dans les tumeurs homœoplastiques que se rencontrèrent des substances particulières donnant de la gélatine, des corps gras particuliers d'espèces les plus différentes, tant liquides que cristallisés, etc. Si l'examen des tumeurs bénignes a conduit à plus de résultats que celui des tumeurs malignes, cela se conçoit en ce qu'on arrivait à des formes de tissus dont on connaissait déjà mieux la structure intime.

C'est ainsi que l'on concevra que même un savant comme Rokitansky soit arrivé à l'opinion que la substance cacoplastique devait être recherchée dans l'albumine même et que l'albumine « malade » était précisément la source des productions locales les plus malignes qui se voient dans le corps. Joh. Müller lui-même a cependant soumis à la coction et à l'extraction assez de tumeurs pour ne pas arriver à autre chose qu'à de la gélatine et de l'albumine.

Depuis lors, on a, en réalité, cessé presque entièrement les recherches chimiques sur les tumeurs, et, dans le fait, il n'y a aujourd'hui que peu de jalons d'où l'on puisse conclure à la possibilité de découvrir des alcooloïdes particuliers aux tumeurs dont ils seraient les éléments essentiels. Bien plus, toutes nos connaissances nous apprennent que les substances douées des propriétés les plus actives n'ont pas une composition stable, qu'elles sont en voie de transformation, qu'elles passent en chemin par différents stades, dans lesquels elles peuvent exercer un effet différent, *analogue aux ferments de toute sorte*. Pour ceux-ci également, nous nous contentons, pour le moment, de désigner la qualité de la substance, non pas tant d'après sa constitution chimique que d'après son activité spéciale, de telle sorte que nous différencions bien plus les divers ferments d'après les corps sur lesquels ils sont en état d'agir que d'après leur composition anatomique. Je ne veux par là discréditer en aucune façon la voie des recherches chimiques appliquées aux tumeurs; au contraire, il serait certainement très-utile que ce travail fût entrepris avec des connaissances approfondies; seulement je crois que la recherche de substances spécifiques qui pourraient être supposées former des éléments fixes et permanents des tumeurs, serait aussi infructueuse que si l'on recherchait dans l'œuf les éléments de l'homme adulte. Lorsque l'on voit que les parties constituantes du corps humain subissent constamment de nouvelles transformations dans les changements continus de l'âge, que l'œuf est formé d'une tout autre substance que le fœtus, et le fœtus de nouveau de tout autre chose que le vieillard, il ne faut pas oublier, en considérant les tumeurs, qu'elles ne peuvent pas renfermer toujours la même substance pendant toute la durée de leur existence, mais que ces substances varient singulièrement dans les différentes périodes de leur développement progressif et rétrograde, et qu'elles peuvent avoir, peu après leur apparition, un certain mode

Digitized by Google

d'action, qu'elles perdent lorsqu'elles ont dépassé cette époque.

Quant aux éléments morphologiques, on demandait dans l'origine à voir comment était fait ce qui exerçait une influence si délétère sur le corps, et l'on n'attendait rien moins des micrographes que la démonstration de cellules spécifiques cancéreuses, sarcomateuses et tuberculeuses. On sait qu'il suffit de demander très-catégoriquement une chose pour qu'il y ait des gens qui se mettent en mesure de satisfaire à cette demande ; c'est ainsi que les micrographes de l'époque, mus par la meilleure volonté, se sont laissés entraîner par cette pression générale. On en est alors arrivé, dans le fait, non-seulement à décrire des *éléments spécifiques*, mais on s'est encore de nouveau efforcé de distinguer, au moyen de ces éléments spécifiques, les tumeurs hétéroplastiques des homœoplastiques.

Je dois observer, à l'honneur des micrographes, qu'ils n'ont pas été aussi fautifs qu'on le leur a reproché. Certaines choses ont été en odeur de spécificité parmi le public médical, quoique les observateurs ne leur aient, en aucune façon, assigné cette signification : c'est ainsi que, pendant un temps, il était de mode de croire que les corpuscules présentant un prolongement caudal (cellules fusiformes) étaient des éléments particuliers, spécifiques des tumeurs cancéreuses, bien que, à mon avis, on chercherait en vain le micrographe qui a le premier avancé cette assertion. C'était bien plutôt un dogme qui s'était formé dans la masse des médecins et qui de là est rentré dans la science ; mais une fois solidement établi du consentement de tous, il était très-difficile de l'en faire de nouveau sortir.

C'est en France que s'est répandue le plus complétement et le plus vite la doctrine des éléments spécifiques, basée, il est vrai, d'abord sur les vues de notre école allemande historico-naturelle ; son principal fondateur fut Lebert, un élève de Schoenlein. Au point de vue de cette école, rien n'était plus correct qu'une telle opinion. Aussi bien que dans les différentes plantes et les animaux, on reconnaissait des propriétés particulières dans leur structure, on établissait en principe que chaque espèce particulière de tumeur représentait quelque chose de tout spécial et qu'elles différaient autant l'une de l'autre qu'une plante d'une autre plante. Cela se conçoit lorsque l'on se reporte à l'idée du parasitisme, qui regarde la tumeur comme quelque chose de séparé du corps, avec lequel elle n'aurait que des rapports extérieurs, quelque chose qui aurait aussi sa valeur indépendamment du corps et qu'il faudrait considérer comme une nouvelle création.

Beaucoup d'adeptes de l'école de Paris tiennent encore aujourd'hui à cette doctrine des éléments spécifiques, qui a également trouvé en Angleterre quelques partisans. En Allemagne, elle a, dès le début, fait peu de prosélytes, et maintenant elle est tout à fait abandonnée. Dès les premiers temps de ma carrière je me suis moi-même efforcé de combattre cette erreur, et je crois que nous sommes aujourd'hui en mesure de pouvoir démontrer partout qu'il n'existe pas de véritables éléments spécifiques des tumeurs n'ayant aucune analogie avec les tissus normaux. Il suffit pour cela de ne pas oublier que la tumeur, quelque parasitique qu'elle puisse être, *est toujours une partie du corps qui provient de celui-ci*, et ne se développe pas isolément aux dépens d'un suc quelconque, à une place quelconque du corps, par la force inhérente à ce suc producteur. Admettre un tel développement *de novo* était possible à une époque où l'on croyait également que les entozoaires se développaient spontanément dans le corps aux dépens d'un liquide ou d'une excrétion, par génération équivoque, alors que l'on n'avait encore aucune idée de la manière dont un cysticerque arrive au milieu de l'abdomen et peut s'y développer et croître. Il ne restait au médecin d'alors d'autre opinion possible que de faire naître les entozoaires des substances animales, soit des tissus eux-mêmes, soit du mucus intestinal (*saburra*). Aujourd'hui que l'on sait que les entozoaires pénètrent toujours du dehors dans le corps, par une voie, souvent extraordinaire il est vrai, mais toujours naturelle, ce genre d'analogie n'est plus à invoquer. Cela est surtout évident depuis que nous savons que, dans un exsudat libre, il ne se produit aucun nouvel élément ; que, bien plus, les éléments, dans le corps lui-même, ont une origine légitime, de part père et mère (ou pour mieux dire de père ou de mère, car il y a là une parthénogenèse), il nous faut abandonner complétement l'idée qu'une tumeur puisse se développer dans le corps comme un être indépendant. *Elle est une partie du corps ;* elle ne lui est pas seulement contiguë, mais procède de lui et est soumise à ses lois. *Les lois du corps régissent aussi la tumeur.* C'est pourquoi elle n'est pas un objet d'histoire naturelle que l'on peut regarder comme étranger aux éléments du corps ; elle est, au contraire, à considérer comme renfermée dans les limites de celui-ci.

En partant de ce point de vue, on n'aura pas besoin pour être logique de trouver des éléments spécifiques ; mais on se dira que le nombre des modes de développement des tumeurs doit être en général assez restreint. De même qu'il ne viendra à l'idée de personne que le corps humain produit en lui-même des noyaux de cerises ou de prunes, ou bien qu'un produit végétal quelconque procède d'une déviation particulière de l'organisme animal, de même aussi il faut établir d'avance que tout ce que l'homme produit sera toujours quelque chose d'humain, et ce que l'animal produit, quelque chose d'animal ; on ne pourra pas non plus revenir à l'idée qu'il doit procéder du corps humain quelque chose de *sui generis*, qui, génériquement, diffère des parties du corps. Un poil peut apparaître et croître à un endroit où nous ne devons pas nous attendre à rencontrer des poils. Mais personne ne pensera et ne croira qu'une plume puisse pousser dans le corps humain. Dans le fait il est chez l'homme des tumeurs qui renferment des poils, et l'on trouve quelquefois dans les oies, en les dépeçant, des tumeurs contenant des plumes. Cela se comprend et est inhérent au type de l'individu. Mais si jamais un homme engendrait une tumeur avec des plumes, ou une oie une tumeur avec des poils, ce serait une sorte de production *sui generis*, parce que le produit dévierait du type inhérent à l'individu. *Le type qui, en général, régit le développement et la formation de l'organisme, régit également le développement et la formation des tumeurs.* Il n'existe nulle part un type différent, nouveau, indépendant.

Ce que la logique établit de cette manière, résulte aussi empiriquement de l'observation immédiate des tumeurs elles-mêmes. C'est pourquoi je nie qu'il y ait une hétérologie dans le sens dans lequel on l'a soutenu depuis Bichat, ou telle qu'on se l'imaginait déjà bien avant lui, c'est-à-dire que la tumeur se développât et existât dans le corps d'après un plan tout nouveau, d'après une loi toute nouvelle. Je vais plus loin : chaque espèce de tumeur, quelle qu'elle soit, répond dans ses parties importantes à des éléments du corps dont le

Digitized by Google

type est connu, et la différence capitale des diverses tumeurs entre elles réside en ce que des tissus, normaux par eux-mêmes, apparaissent sous forme de tumeur tantôt au milieu de régions où ce tissu existe normalement, tantôt en des points où on ne le rencontre pas à l'état normal. Dans le premier cas, je dis qu'il y a *homologie*, et dans le second, *hétérologie*.

Quand donc un tissu normal apparaît en un point qui en renfermait déjà antérieurement un semblable, alors, par conséquent, que le nouveau tissu est identique avec l'ancien, que le type de la nouvelle production répond au type du tissu préexistant, dans ce cas le nouveau tissu, la tumeur, est homologue ; lorsqu'au contraire le nouveau type ne répond pas à l'ancien, lorsqu'il dévie du type préexistant, originaire et normal de la région, alors il y a hétérologie. *Mais celle-ci a, elle aussi, son analogue* dans le corps, *seulement dans une autre partie* que celle où siége la tumeur.

Le cas que j'ai cité plus haut, où un poil, par exemple, se développe dans l'estomac ou dans la vessie, constitue l'hétérologie; quand il se forme de l'épiderme dans le cerveau, c'est de l'hétérologie. Malgré cela, le poil et l'épiderme peuvent avoir exactement la même conformation qu'un poil quelconque, occupant son siége normal à la surface du corps ou qu'une couche épidermique à la surface de la peau. Ce n'en est pas moins l'hétérologie la plus franche.

On ne peut donc, à mon avis, distinguer les tumeurs d'après les tissus, de telle façon que les tumeurs renfermant certains tissus soient regardées comme homœoplastiques, et que celles qui en renferment certains autres soient qualifiées d'hétéroplastiques; tout au contraire, *la même espèce de tumeur peut être, dans telle circonstance, homologue, et dans telle autre hétérologue*. La même tumeur peut une fois apparaître en un point où elle ne sera que l'expression d'un développement excessif du tissu existant normalement en ce point, et une autre fois en un point auquel ce tissu est tout à fait étranger et où son développement est tout anormal, tout pathologique. Prenons un exemple : le cartilage peut former une tumeur. La tumeur cartilagineuse est homologue, non point parce qu'elle est formée de cartilage, mais seulement si elle provient de cartilage, si dans ce même point il y avait déjà auparavant du cartilage. Ainsi, un cartilage costal peut être le point de départ d'une énorme tumeur cartilagineuse ; c'est de l'homologie. Mais il peut aussi se développer une tumeur cartilagineuse dans le testicule, qui ne renferme pas de cartilage, où l'on ne doit pas en rencontrer ; ici le même produit constitue une hétérologie.

Ce sont là, je crois, des idées toutes naturelles et tirées de l'observation. On ne peut reprocher à ces dénominations d'être forcées en quoi que ce soit. L'homologie et l'hétérologie ont beau avoir, pour moi, un sens différent de celui que lui donnaient mes prédécesseurs, je ne puis cependant l'exprimer autrement. Le langage a certaines bornes que l'on ne peut dépasser, et si l'on m'a reproché de donner à ces mots un sens inusité, cela est juste pour ce qui est des termes, mais non pour la compréhension réelle de la chose ; car ces expressions n'expriment un fait que dans le sens que je leur ai donné.

Mais une division semblable a aussi une importance pratique, en ce sens que les tumeurs homologues rentrent toutes en général dans la catégorie des hyperplasies, de la simple hypertrophie du tissu normal ; elles portent donc en elles le caractère de la bénignité. *Cette catégorie représente donc en masse ce que l'on appelle tumeurs de bonne nature.* D'autre part, l'idée de malignité s'attache aussi en général à l'hétérologie, seulement pas à ce point que toutes ces tumeurs soient également malignes. Il faudrait, dans cette catégorie, établir une *échelle de malignité*, dont les degrés les plus inférieurs correspondent aux tumeurs les moins malignes, de manière à pouvoir peut-être les reporter aussi dans la série des tumeurs de bonne nature.

Une fois que l'on possédera une division telle que l'on sache que d'un côté se trouve en grande majorité les tumeurs qui n'ont aucune influence essentiellement nuisible sur le corps, tandis que de l'autre côté règne, dès l'abord, un soupçon de danger, on aura conquis les premiers principes d'une *connaissance pratique* des tumeurs et, dans ce sens, ce mode de division anatomique, en tenant compte en même temps du côté *génésique*, aura une importance physiologique et une valeur pratique immédiate.

Traduit sur le texte allemand de VIRCHOW,
par ARRONSSON, agrégé de la Faculté de médecine de Strasbourg.

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS.

PHYSIQUE MÉDICALE.

COURS DE M. GAVARRET (*).

Des images par réflexion et par réfraction.

DES LENTILLES PLACÉES DANS L'AIR (suite).

82. *Formules définitives.* — Les expressions précédentes, déterminées par la méthode géométrique donnent les valeurs absolues des distances AO, A'O, AK, A'K', KF, K'F'; mais n'indiquent pas les positions *réelles* des points O, K, K', F, F' sur l'axe principal. — Pour obtenir des formules qui fournissent les valeurs *réelles* des éléments fondamentaux de la lentille, il suffit de se rappeler que les distances focales de la première face A sont *positives*, tandis que celles de la seconde face A' sont *négatives*, de faire dans les expressions précédentes $Aa = f_0$, $Aa' = f'_0$, $A'b = -f_1$, $A'b' = -f'_1$, et de mettre en évidence les signes *négatifs* dont doivent être affectées les longueurs évidemment *négatives*, A'O, A'K', KF, K'F'; ce qui donne :

1° Pour la position du centre optique :

$$(1)\quad \begin{cases} AO = \dfrac{ef'_0}{f'_0 + f_1} \\ A'O = \dfrac{ef_1}{f'_0 + f_1} \end{cases}$$

2° Pour la position des points nodaux.

$$(2)\quad \begin{cases} AK = \dfrac{ef_0}{f'_0 + f_1 - e} \\ A'K' = \dfrac{ef'_1}{f'_0 + f_1 - e} \end{cases}$$

3° Pour la valeur commune des distances focales :

$$\varphi = KF = K'F' = \frac{f_0 f_1}{f'_0 + f_1 - e}$$

(*) Voy. les nos 26, 27, 28, 30, 32 et 34, et d'autres leçons de M. Gavarret *Sur la climatologie*, dans les nos 7, 8, 10, 12 et 15.

Digitized by Google

Il est facile de voir que ces formules, dans lesquelles les quantités f_0, f'_0 sont *positives* et les quantités f_1, f'_1 *négatives*, donnent les véritables positions des points O, K, K', F, F' sur l'axe principal.

Les dénominateurs sont tous *positifs* et par suite le signe des expressions dépend uniquement de celui des numérateurs.

Le centre optique O étant à droite de A', d'après les conventions adoptées (44) AO est *positif* et A'O est *négatif*. Or, il est facile de voir que dans les formules (1), le numérateur de la première est *positif* et le numérateur de la seconde *négatif*.

Le premier point nodal K est à droite de A, donc AK doit être *positif* et, en effet, le numérateur de la première des formules (2) est *positif*. — Le second point nodal K' étant à droite de A', la distance A'K' doit être *négative* et, en effet, le numérateur de la seconde des formules (2) est *négatif*.

Les foyers principaux F, F' sont *virtuels*, les distances focales de la lentille sont donc *négatives*. Or, dans la formule (3) le numérateur est évidemment *négatif*.

Pour passer des formules de la lentille biconvexe à celles du ménisque divergent, il suffit donc de changer les signes des distances focales de la seconde face A' de la lentille.

Ajoutons d'ailleurs que dans le ménisque divergent :

1° Les plans focaux jouissent des mêmes propriétés que ceux de la lentille biconcave.

2° Les foyers conjugués ainsi que les rapports de position et de grandeur d'un objet et de son image sont déterminés par les mêmes formules que dans la lentille biconcave.

83. *Remarque.* — Pour que les foyers du ménisque soient *virtuels*, il suffit et il faut que la valeur $\frac{f_0 f_1}{f'_0+f_1-e}$ de ses distances focales soit *négative*. Or, le numérateur étant essentiellement *négatif*, le dénominateur doit être *positif*, ce qui donne :

$$f'_0+f_1-e>0$$

Ou, en remplaçant f'_0, f_1, par leurs valeurs :

$$\frac{nr}{n-1}-\frac{nr'}{n-1}-e>0$$

D'où l'on tire :

$$r'<r-\frac{n-1}{n}e$$

Telle est la condition nécessaire et suffisante à laquelle doivent satisfaire les rayons de courbure r, r' de la première et de la seconde face et l'épaisseur e de la lentille pour que les foyers soient *virtuels*.

Pour que le ménisque concavo-convexe soit *divergent*, il ne suffit donc pas que le rayon de courbure r' de la face concave soit plus petit que le rayon de courbure r de la face convexe, il faut que ce rayon r' soit plus petit que $r-\frac{n-1}{n}e$.

Lorsque $r'=r-\frac{n-1}{n}e$, $f'_0+f_1-e=0$, $\varphi=\infty$, les distances focales ont une valeur infinie ; en d'autres termes, le ménisque se conduit come un milieu réfringent terminé par des faces parallèles, et les rayons émergents sont parallèles aux rayons incidents.

LENTILLE INFINIMENT MINCE.

84. Pour passer du cas de la lentille d'épaisseur finie e à celui de la lentille assez mince pour que son épaisseur comptée sur l'axe principal soit complétement négligeable, il suffit de faire $e=0$ dans les formules générales des points cardinaux de l'appareil ; ce qui donne :

$$AO=0 \quad A'O=0 \quad AK=0 \quad A'K'=0$$

En même temps que les *sommets* A, A' de ses deux faces, son *centre optique* O et ses deux *points nodaux* K, K' se superposent au point Q où l'axe principal perce la lentille ; ce point Q devient l'origine de toutes les longueurs. — Les deux *plans principaux* se confondent en un *seul* mené par le point Q perpendiculairement à l'axe principal, et tout rayon incident qui passe par ce point Q est transmis sans déviation suivant le prolongement de sa direction.

Les deux distances focales ont pour valeur commune :

$$\varphi=QF=QF'=\frac{f_0 f_1}{f'_0+f_1}$$

Si nous remplaçons f_0, f'_0 et f_1 par leurs valeurs en fonction de l'indice de réfraction n et des rayons de courbure r, r' des faces de la lentille, nous avons :

1° Pour les trois lentilles convergentes :

Lentille biconvexe..... $\varphi=\frac{rr'}{(n-1)\ (r+r')}$

Lentille plan-convexe... $\varphi=\frac{r}{n-1}$

Ménisque convergent.... $\varphi=\frac{rr'}{(n-1)\ (r'-r)}$

Ces distances focales sont positives et les foyers principaux sont *réels*, car r, et r' sont des quantités numériques, et dans le ménisque convergent r' est plus grand que r.

2° Pour les trois lentilles divergentes :

Lentillle biconcave... $\varphi=-\frac{rr'}{(n-1)\ (r+r')}$

Lentille plan-concave. $\varphi=-\frac{r}{n-1}$

Ménisque divergent... $\varphi=-\frac{rr'}{(n-1)\ (r-r')}$

Ces distances focales sont *négatives* et les foyers principaux sont *virtuels*, car r, r' sont des quantités numériques, et dans le ménisque divergent r est plus grand que r'.

D'ailleurs, les foyers conjugués ainsi que les rapports de position et de grandeur d'un objet et de son image sont déterminés par les mêmes formules que dans les cas d'une lentille d'épaisseur finie.

85. *Propriété remarquable des plans principaux* — Soient : (fig. 272) K, K' les points nodaux, TT, T'T', les plans principaux, F, F', les foyers principaux d'une lentille quelconque M d'épaisseur finie. — Supprimons la lentille M et plaçons au premier point nodal K une lentille infiniment mince, qui se confonde avec le premier plan principal TT et dont les distances focales soient égales à celles de la lentille M. — Dès lors F sera à la fois le premier foyer principal de la lentille infiniment mince et de la lentille M, et le second foyer principal de la lentille infiniment mince sera en un point F'_1 tel que $F'F'_1=KK'$. — Remarquons, en outre, que UU sera à la fois le premier plan focal de la lentille infiniment mince et de la lentille M.

Digitized by Google

Cela posé, soit SD un rayon incident quelconque qui perce en H le plan focal UU. D'après les propriétés connues des plans focaux, la lentille infiniment mince réfracte ce rayon suivant DR parallèle à HK, et la lentille M l'aurait réfracté suivant D'R' parallèle à la même ligne de direction HK.— Ces deux rayons DR, D'R' correspondants au même rayon incident SD et transmis le premier par la lentille infiniment mince

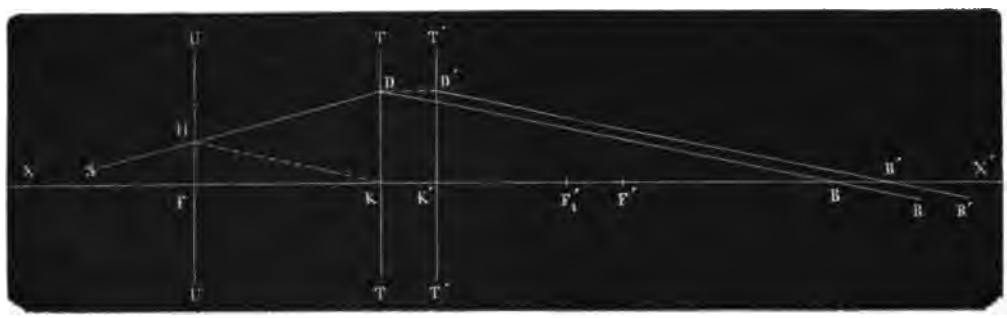


Fig. 272.

placée en K, le second par la lentille primitive M, sont donc parallèles entre eux et coupent l'axe principal en des points B, B', tels que BB' = DD' = KK'.

Étant donnée une lentille quelconque M d'épaisseur finie placée dans l'air, on peut donc toujours la remplacer par une lentille infiniment mince placée à son premier point nodal K et de même longueur focale que la lentille M. — Les rayons transmis par cette lentille infiniment mince sont parallèles à ceux qu'aurait transmis la lentille M; pour déterminer la

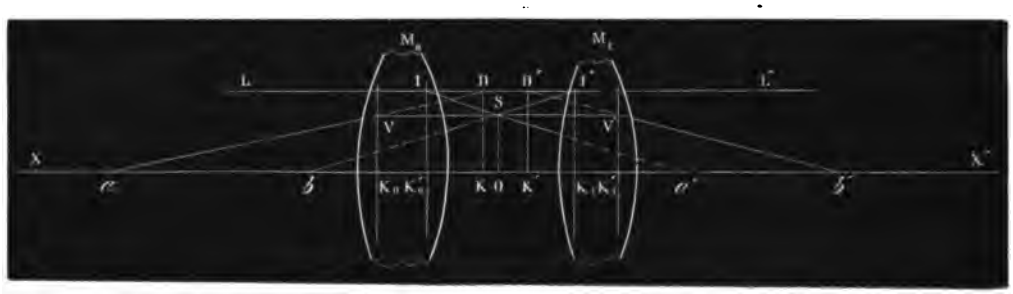


Fig. 273.

position réelle des rayons transmis par la lentille M d'épaisseur finie, il suffit de transporter parallèlement à eux-mêmes et d'une distance BB', comptée sur l'axe principal, égale à l'intervalle KK' des deux point nodaux, les rayons transmis par la lentille infiniment mince.

DES ASSOCIATIONS DE LENTILLES PLACÉES DANS L'AIR.

86. Les éléments fondamentaux d'un système dioptrique composé d'un nombre quelconque de lentilles centrées sur un même axe principal et placées dans l'air sont les mêmes que ceux d'une simple lentille; la méthode géométrique que nous avons adoptée permet de les déterminer. Nous étudierons avec détails le cas de l'association de deux lentilles; cela suffira pour indiquer la marche à suivre dans la recherche des points cardinaux de systèmes dioptriques plus compliqués.

ASSOCIATION DE DEUX LENTILLES.

87. Soient : M_0, M_1 (fig. 273), deux lentilles centrées sur un même axe principal XX'; a, a' les foyers principaux, K_0, K'_0 les points nodaux, $\varphi_0 = K_0 a = K'_0 a'$ les distances focales de la première lentille M_0; b, b' les foyers principaux, K_1, K'_1 les points nodaux, $\varphi_1 = K_1 b = K'_1 b'$ les distances focales de la lentille M_1; $e = K'_0 K_1$ la distance du second point nodal K'_0 de la lentille M_0 au premier point nodal K_1 de la lentille M_1.

88. *Points principaux. — Plans principaux du système.* — La droite LL' (fig. 273) parallèle à l'axe principal perce en I le second plan principal de la lentille M_0 et en I' le premier plan principal de la lentille M_1. Les lignes Ia', I'b se coupent en S; SO est perpendiculaire à l'axe principal.

Les deux triangles rectangles a'IK'_0, a'SO sont semblables, ainsi que les deux triangles rectangles bI'K_1, bSO; ces deux couples de triangles semblables donnent :

$$\frac{K'_0O}{K_1O} = \frac{K'_0a'}{K_1b} = \frac{\varphi_0}{\varphi_1}$$

D'autre part :

$$K'_0O + K_1O = e$$

D'où :

$$K'_0O = \frac{e\varphi_0}{\varphi_0 + \varphi_1}$$

$$K_1O = \frac{e\varphi_1}{\varphi_0 + \varphi_1}$$

Ces deux équations déterminent la position du point O sur l'axe principal; le point O partage la distance K'_0K_1 en deux parties K'_0O, K_1O proportionnelles aux distances focales φ_0, φ_1, des deux lentilles.

Considérons la perpendiculaire SO comme un objet lumineux rayonnant à la fois vers les deux lentilles M_0, M_1, et menons par le point S la droite VV' parallèle à l'axe principal.

Les perpendiculaires DK, D'K' sont les images de SO regardé successivement à travers la lentille M_0 et à travers la lentille M_1; ces deux images sont *droites* et de *même grandeur*.

Digitized by Google

Donc, si DK est un objet, le système des deux lentilles en forme une image *droite* et de même grandeur en D'K'. Il en résulte que les plans perpendiculaires à l'axe principal menés par DK et D'K' sont percés à la même hauteur et du même côté de l'axe principal par la direction d'un rayon incident quelconque et par la direction du rayon émergent correspondant. — DK, D'K', sont donc le *premier* et le *second plan principal* et K, K' le *premier* et le *second point principal* de ce système de deux lentilles.

Pour déterminer la position du premier point principal K, nous avons les deux couples de triangles rectangles semblables $a'IK'_0$, $a'SO$ et aDK, aVK_0. En tenant compte des relations $IK'_0 = DK$, $VK_0 = SO$, $K'_0O = \frac{e\varphi_0}{\varphi_0 + \varphi_1}$, ces triangles donnent :

$$K_0K = \frac{e\varphi_0}{\varphi_0 + \varphi_1 - e}$$

Pour déterminer la position du second point principal K', nous avons aussi deux couples de triangles rectangles semblables $bI'K_1$, bSO et $b'D'K'$, $b'V'K'_1$ qui, en tenant compte des relations $I'K_1 = D'K'$, $V'K'_1 = SO$, $K_1O = \frac{e\varphi_1}{\varphi_0 + \varphi_1}$ donnent :

$$K'_1K' = \frac{e\varphi_1}{\varphi_0 + \varphi_1 - e}$$

89. *Foyers principaux. — Distances focales du système.* — Étant connue la position des points principaux K, K' et des plans principaux du système, il est facile de déterminer la position de ses foyers principaux.

Soit, en effet, SI (fig. 274) un rayon incident parallèle à l'axe principal dont le prolongement perce en I le second plan principal K'_0 de la première lentille M_0, et en D' le second principal K' du système. — Soit, en outre, a' le second foyer principal de la première lentille M_0.

La première lentille M_0 réfracte le rayon incident SI suivant Ia' qui perce en C le premier plan principal K_1 de la seconde lentille M_1. Si donc nous menons par C une parallèle à l'axe principal qui perce en C' le second plan principal K'_1 de la lentille M_1, le rayon Ia' est réfracté par la lentille M_1, suivant une droite qui passe par C'.

Le point C' appartient donc à la direction du rayon émergent du système correspondant au rayon incident SI. Mais déjà D' appartient à la direction de ce rayon émergent, puisque D' est le point où le second plan principal du système est percé par le prolongement de SI parallèle à l'axe principal. Donc la droite D'C'R détermine la position du rayon émergent du système des deux lentilles correspondant au rayon incident SI parallèle à l'axe principal.

Le point F' où cette droite D'R coupe l'axe principal est donc le *second foyer principal*, et K'F' est la *seconde distance focale* du système des deux lentilles.

Pour déterminer cette distance focale K'F' et par suite la position du second foyer principal, nous avons deux couples de triangles rectangles semblables, $a'IK'_0$, $a'CK_1$ et F'D'K', F'C'K'_1. En tenant compte des relations $IK'_0 = D'K'$, $CK_1 = C'K'_1$, $K'_1K' = \frac{e\varphi_1}{\varphi_0 + \varphi_1 - e}$, ces triangles donnent facilement :

$$K'F' = \frac{\varphi_0\varphi_1}{\varphi_0 + \varphi_1 - e}$$

On déterminerait de la même manière la position du *premier foyer principal* F et la *première distance focale* KF du système, et l'on trouverait :

$$KF = \frac{\varphi_0\varphi_1}{\varphi_0 + \varphi_1 - e}$$

Les deux distances focales de ce système de deux lentilles M_0,

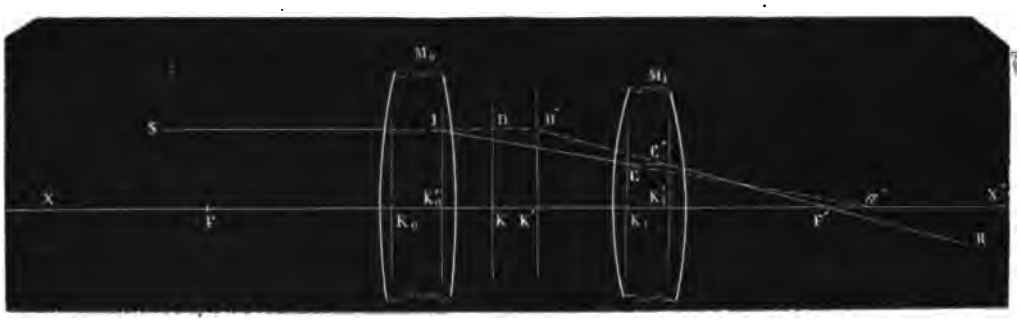


Fig. 274.

M_1, placées dans l'air, sont donc égales, et en désignant par la lettre φ leur valeur commune nous avons :

$$\varphi = KF = K'F' = \frac{\varphi_0\varphi_1}{\varphi_0 + \varphi_1 - e}$$

90. *Points nodaux du système.* — Il est facile de démontrer que les points principaux K, K' de ce système des deux lentilles M_0, M_1 placées dans l'air, sont en même temps ses *points nodaux*, c'est-à-dire que tout rayon incident dont la direction passe par le point K émerge suivant une droite menée par K' parallèlement au rayon incident.

Soient : en effet, K, K' (fig. 275) les points principaux et F, F' les deux foyers principaux du système. Les plans perpendiculaires à l'axe principal XX' menés par F, K, K' sont le premier plan focal et les deux plans principaux.

Prenons un point lumineux quelconque S hors de l'axe principal. — Les deux rayons incidents, SD parallèle à l'axe principal, SC qui passe par le premier foyer principal F, émergent du système suivant D'R qui passe par le second foyer principal F' et suivant C'R' parallèle à l'axe principal. — Le foyer du point S est donc au point d'intersection S' de ces deux rayons émergents; et le rayon incident SK émerge nécessairement suivant K'S'. — Il faut démontrer que K'S' est parallèle à SK.

Pour cela, abaissons les perpendiculaires SP, S'P' sur l'axe principal. — Par le point H où SK perce le premier plan focal F du système, menons le rayon incident HB parallèle à l'axe principal; le rayon émergent correspondant passe nécessairement par B' et par F' et ce rayon B'F' rencontre en G la perpendiculaire S'P'.

Digitized by Google

Puisque les distances focales KF, K'F' sont égales, les triangles rectangles KHF, F'B'K' sont égaux, et les droites B'G, SK sont parallèles.

En tenant compte des relations SP = D'K', CK = S'P', les deux couples de triangles semblables FSP, FCK et F'D'K', F'S'P' donnent :

$$\frac{SP}{CK}=\frac{D'K'}{S'P'}=\frac{PF}{KF} \quad \text{et} \quad \frac{D'K'}{S'P'}=\frac{K'F'}{P'F'}$$

D'où :

$$\frac{PF}{KF}=\frac{K'F'}{P'F'}$$

D'autre part, les deux couples de triangles semblables F'D'B', F'S'G et F'B'K', F'GP' donnent :

$$\frac{F'B'}{F'G}=\frac{D'B'}{S'G} \quad \text{et} \quad \frac{F'B'}{F'G}=\frac{K'F'}{P'F'}$$

D'où :

$$\frac{D'B'}{S'G}=\frac{K'F'}{P'F'}$$

Par conséquent :

$$\frac{D'B'}{S'G}=\frac{PF}{KF}$$

De plus, les triangles rectangles semblables KSP, KHF donnent :

$$\frac{SP}{HF}=\frac{KP}{KF}$$

D'où :

$$\frac{SP-HF}{HF}=\frac{KP-KF}{KF}$$

Mais évidemment SP = D'K', HF = B'K', SP — HF = D'B' et KP — KF = PF; en substituant, nous avons donc :

$$\frac{D'B'}{B'K'}=\frac{PF}{KF}$$

Donc enfin :

$$\frac{D'B'}{B'K'}=\frac{D'B'}{S'G}$$

Il résulte évidemment de cette dernière relation que S'G = B'K' et que les droites B'G, K'S' sont parallèles. — Mais B'G est parallèle à SK :

Donc le rayon incident SK et le rayon émergent correspondant K'S' sont parallèles; donc les points K, K' sont à la fois les *points principaux* et les *points nodaux* du système.

91. *Centre optique du système.* — Nous avons vu (88), figure 273, que les points K, K' sont les images du point O regardé à travers la lentille M_0, M_1; ce point O est donc en réalité le centre optique du système des deux lentilles associées.

92. *Plans focaux du système.* — En recourant aux constructions et aux raisonnements déjà employés (47), on démontre-

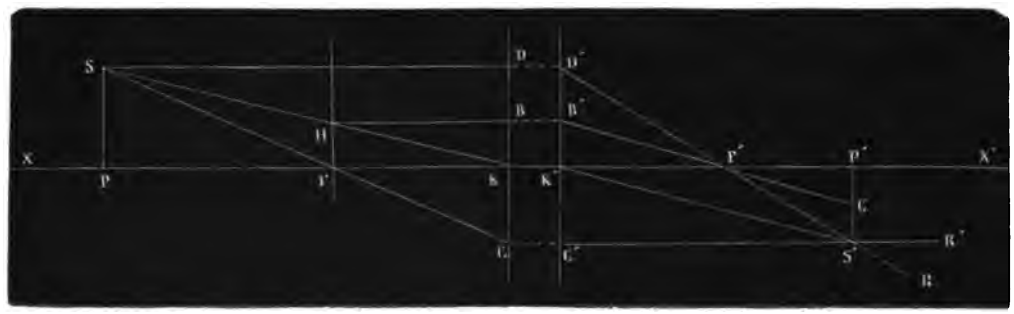


Fig. 275.

rait facilement que les plans focaux de ce système de deux lentilles associées jouissent des mêmes propriétés que les plans focaux d'une lentille simple.

93. Il résulte des constructions et déterminations précédentes que l'action sur la lumière d'un système de deux lentilles M_0, M_1 placées dans l'air (fig. 57 et 58) est la même que celle d'une lentille dont les éléments fondamentaux sont donnés par les relations suivantes :

1° Centre optique O du système :

$$(1) \quad \begin{cases} K'_0O=\dfrac{e\varphi_0}{\varphi_0+\varphi_1} \\ K_1O=\dfrac{e\varphi_1}{\varphi_0+\varphi_1} \end{cases}$$

2° Points nodaux K, K' du système qui sont en même temps ses points principaux.

$$(2) \quad \begin{cases} K_0K=\dfrac{e\varphi_0}{\varphi_0+\varphi_1-e} \\ K'_1K'=\dfrac{e\varphi_1}{\varphi_0+\varphi_1-e} \end{cases}$$

3° Valeur commune des deux distances focales KF, K'F' du système.

$$(3) \quad \varphi=KF=K'F'=\frac{\varphi_0\varphi_1}{\varphi_0+\varphi_1-e}$$

En résumé, ces relations font connaître les éléments fondamentaux du système dioptrique de deux lentilles placées dans l'air. — Pour déterminer le rayon émergent correspondant à un rayon incident quelconque, le foyer d'un point lumineux situé sur l'axe principal ou hors de cet axe, les rapports de position et de grandeur d'un objet et de son image, en un mot pour résoudre les problèmes relatifs à la transmission de la lumière à travers ce système dioptrique, il suffira donc de recourir aux constructions géométriques et aux formules employées dans l'étude de la lentille simple.

GAVARRET.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE — NUMÉRO 37 — 11 AOUT 1866

CERCLE AGRICOLE DE PARIS.

CONFÉRENCE DE M. A. GAUDRY.

La géologie du bassin de Paris (1).

Messieurs,

Lorsque nous gravissons une des collines qui dominent la ville de Paris, nous voyons à nos pieds s'agiter un peuple immense. Mais nos premiers aïeux ont contemplé un spectacle bien différent : il fut un temps où, sur les rives de la Seine, erraient des éléphants, des rhinocéros, des bœufs gigantesques, tandis que d'énormes hippopotames se jouaient au milieu de notre rivière. Il y eut des âges encore plus reculés pendant lesquels on n'entendait la voix d'aucun être humain; alors le bassin de la Seine était recouvert par des lacs bordés de palmiers, dans les eaux desquels venaient s'abreuver des palæotheriums; ou bien la mer cachait cette terre où devait se développer un jour tant d'industrie et, sans être taxé d'orgueil national, je peux ajouter, où devait briller tant de génie.

La géologie du bassin de Paris a été l'objet de travaux qui l'ont rendue célèbre parmi les naturalistes de tous les pays; dans ces derniers temps, elle vient de donner lieu aux plus importantes recherches. J'essayerai de vous en dire quelques mots : il est curieux d'apprendre comment a été formé le sol que nous foulons aux pieds, et de savoir que bien longtemps avant les merveilles créées par l'intelligence humaine, cette contrée fut témoin d'autres merveilles qui n'étaient pas moins admirables, comme si ce coin de terre que nous habitons avait toujours été destiné à être le théâtre de grandes choses.

§ I

De même qu'en Italie ce fut un artiste fameux, Léonard de Vinci qui, le premier, ressentit quelques aspirations vers la géologie, en France c'est un homme dont le nom est resté célèbre dans les arts qui révéla l'existence d'un monde vivant antérieur à notre monde actuel : « *Un potier de terre*, a écrit Fontenelle, *qui ne savait ni latin ni grec, fut le premier qui osa dire dans Paris, et à la face de tous les docteurs, que les coquilles fossiles étaient de véritables coquilles déposées autrefois par la mer dans les lieux où elle se trouvait alors..... et il défia hardiment toute l'école d'Aristote d'attaquer ses preuves.* » Ce potier de terre était Bernard Palissy (1). Il formula ses idées sur la géologie en 1580 : c'était trop tôt; les semences que jeta cette belle intelligence tombèrent dans une terre qui n'était pas préparée : elles ne germèrent pas.

Dans le XVIIIe siècle, notre grand Buffon, le scrupuleux observateur Guettard, l'illustre chimiste Lavoisier et Coupé fixèrent les bases de la géologie parisienne; on reconnut que notre sol est composé de couches, qui ont été formées dans des temps très-reculés, soit au sein des mers, soit dans des lacs; puis on étudia les coquilles enfouies dans les pierres, et l'on constata qu'elles s'éloignaient des coquilles actuelles. Ces notions n'entrèrent pas dans le domaine public ; comme les débris fossiles que l'on possédait alors étaient surtout des coquilles de mer, on pouvait supposer que les naturalistes les croyaient différents des espèces aujourd'hui vivantes, parce qu'on ne connaissait pas bien les animaux des océans.

Cuvier comprit que le meilleur moyen de persuader que les animaux fossiles se distinguent des animaux actuels, était d'étudier ces derniers; qu'en outre, on devait s'attacher de préférence aux quadrupèdes des continents, parce qu'il est plus difficile d'admettre qu'ils ont échappé aux recherches des naturalistes. Alors il fonda la collection d'anatomie comparée du Jardin des plantes; il réunit une multitude de squelettes de quadrupèdes vivants. Ensuite, il se livra à l'examen des animaux fossiles, notamment de ceux dont les ossements se trouvent dans les carrières de pierre à plâtre de Montmartre. Il prétendit que ces espèces diffèrent de celles qui existent maintenant, et sa démonstration fut si nette que le doute ne fut plus possible. Les révélations de Cuvier firent une grande sensation; on apprit avec fierté que l'homme désormais pourrait lire dans le passé; et, en effet, messieurs, n'est-ce pas un des plus saisissants résultats des efforts de l'esprit humain, que d'être arrivé à reconstruire l'histoire des temps pendant lesquels notre race n'avait pas encore paru sur la terre?

Au nom de Cuvier doit être associé celui d'Alexandre Brongniart. Cet habile géologue classa les fossiles suivant les terrains où on les découvrait; il vit ainsi que ceux de la craie ne sont pas les mêmes que ceux du calcaire grossier, que ceux du calcaire grossier ne sont pas les mêmes que ceux de

(1) Voy. une autre conférence de M. A. Gaudry sur *Les animaux fossiles des environs d'Athènes*, dans le n° 5 de la *Revue des cours scientifiques* (30 décembre 1865), 3e année, p. 74.

(1) M. d'Archiac a donné des détails circonstanciés sur l'histoire de la géologie parisienne dans le premier volume de son *Cours de géologie stratigraphique*. Paris, 1862.

Digitized by Google

la pierre à plâtre, etc. C'était là une importante étude, car cela prouvait que les temps géologiques ont été partagés en plusieurs périodes caractérisées par des animaux spéciaux qui ont successivement apparu à la surface du globe. Je ne veux pas, du reste, prétendre que cette découverte appartienne seulement à Alexandre Brongniart. Je ne parle que de la géologie parisienne : à l'époque où vivait Brongniart, il y avait en Angleterre un naturaliste nommé Smith qui émettait les mêmes idées, et même les appliquait sur une échelle plus large. Mais ce n'est pas ici le lieu de discuter qui a eu le plus de mérite, ou de l'anglais Smith ou de notre compatriote Brongniart. Contentons-nous de dire que tous deux furent des hommes d'une grande intelligence, et qu'ils contribuèrent puissamment à fonder la science.

A l'époque où Cuvier et Brongniart faisaient leurs travaux sur le sol parisien, un jeune homme, qui avait débuté par de belles recherches sur le sol de la Belgique, venait poursuivre ses études sur le bassin de Paris, et complétait d'une manière très-heureuse les observations de Brongniart : ce jeune homme qui, déjà en 1808 et 1812 rendait à la géologie de signalés services, était M. d'Omalius d'Halloy; aujourd'hui M. d'Omalius est un des vice-présidents du sénat de la Belgique; il se trouve le doyen dans la famille des géologues, et l'on peut dire que les membres de cette grande famille ont du respect pour leurs aînés, car assurément personne n'est plus vénéré que l'illustre vieillard dont je viens de prononcer le nom.

Après Cuvier, Brongniart et M. d'Omalius d'Halloy, de très-savants naturalistes ont continué à faire des recherches sur le bassin de Paris : je vous citerais surtout Dufrénoy, de Sénarmont, Constant Prévost, Graves, MM. de Roys, d'Archiac, Raulin, Charles d'Orbigny, Hébert. Dans ces derniers temps, M. Delesse a été chargé par le préfet de la Seine de dresser une carte hydrologique et une carte géologique de la ville de Paris : je mets ces cartes sous vos yeux. M. Delesse a noté sur la carte hydrologique avec des lignes ondulées qui sont accompagnées de chiffres les hauteurs auxquelles se trouvent les nappes d'eau souterraines dans Paris; sur la carte géologique, il a marqué de la même manière les niveaux auxquels s'élèvent les couches non-seulement superficielles, mais encore celles qui ne sont pas visibles, étant recouvertes par d'autres couches; ainsi, quel que soit le quartier où l'on soit propriétaire d'un terrain dans Paris, il suffit de jeter les yeux sur les cartes hydrologique et géologique de M. Delesse pour savoir à quelle profondeur on doit creuser pour trouver, soit de l'eau, soit de la craie, soit de la terre glaise, soit du calcaire, etc. : ce sont là d'admirables travaux d'ingénieur! M. Delesse ne s'est pas borné à l'étude de la ville de Paris, il a étendu ses recherches à tout le département de la Seine.

En outre, M. Édouard Collomb a dressé une carte géologique des environs de Paris, dans un rayon de 25 à 30 lieues; cette carte, qui vient de paraître, est certainement appelée à un grand succès.

Il me reste à mentionner le naturaliste qui, depuis Cuvier et Brongniart, a le plus contribué à illustrer la géologie parisienne : ce naturaliste est M. Deshayes. En 1824, M. Deshayes entreprit de faire connaître les coquilles fossiles du bassin de Paris; il publia trois volumes sur ces coquilles. On pouvait croire alors que la paléontologie de nos environs était fort avancée; mais, néant de la science humaine! M. Deshayes vient de donner un supplément à son ancien travail, et il est arrivé que le nouvel ouvrage a dépassé de beaucoup l'ouvrage primitif; il renferme cinq volumes; ce qui fait un total de huit grands volumes employés uniquement à la description des animaux sans vertèbres fossiles dans le bassin parisien. C'est le plus important travail de ce genre qui ait été publié sur aucun pays. Permettez-moi d'ajouter que l'auteur de ce monument géologique a vieilli sans avoir recherché ni honneurs, ni emplois : il est dans Paris une place qui, par sa tranquillité, semble destinée à la demeure de ceux qui étudient le monde antédiluvien, la place Royale au Marais : c'est là que M. Deshayes mène une modeste existence, entouré de ses livres et d'innombrables coquilles fossiles, qu'il montre libéralement à tous les conchyliologistes de Paris, de la province et de l'étranger. Quelques hommes d'un noble esprit se plaignent que dans notre siècle chacun soit trop entraîné par les préoccupations de la vie matérielle; que ceux-là aillent visiter l'auteur de la *Description des coquilles fossiles de Paris*, ils seront saisis de respect en présence d'une existence tout entière absorbée par l'amour le plus désintéressé de la science.

§ II

Disons maintenant ce que nous ont appris tant de naturalistes distingués; nous allons voir comment la constitution géologique de notre pays a puissamment contribué à préparer sa prospérité; l'histoire de notre monde actuel est plus enchaînée qu'on ne pourrait le croire à celle du monde primitif.

Lorsque nous considérons dans son ensemble le pays parisien, nous remarquons d'abord qu'il est disposé en forme de bassin, et que cette configuration est très-favorable au point de vue hydrologique. En effet, nous sommes dominés par plusieurs provinces, la Champagne, la Bourgogne, la Lorraine; les couches des régions placées à un niveau supérieur plongent vers Paris, de manière à constituer une sorte de cuvette dont notre ville est le centre. Si toutes les eaux coulaient à la surface du sol, nous pourrions à certains moments avoir trop d'eau. Heureusement il n'en est pas ainsi; une partie des eaux tombées dans les provinces qui nous dominent s'infiltrent à travers le sol, et, suivant l'inclinaison des couches qui s'enfoncent vers Paris, elles viennent constituer au-dessous de notre ville les nappes souterraines, merveilleux réservoirs où nous puisons suivant nos besoins à l'aide des puits artésiens. Le puits de Grenelle donne une belle masse d'eau; le puits de Passy en fournit une plus belle encore, parce que, foré à une plus grande profondeur, il atteint une nappe qui s'est enrichit des infiltrations des nappes supérieures. On creuse en ce moment deux autres puits artésiens à Paris : l'un qui est au nord à la place Hébert, l'autre au sud, qui est à la butte aux Cailles; ces puits sont avancés, et tout fait espérer leur réussite.

Il n'en est pas de Montmartre, du mont Valérien, des buttes Chaumont comme du monticule de l'acropole à Athènes qui porte le Parthénon, et doit sa forme à un soulèvement. Dans nos environs, les mouvements du sol ne sont que le résultat de l'action des eaux qui, sur certains points, ont raviné les terrains, et, sur d'autres, les ont laissés intacts. L'absence de dislocation violente dans notre pays a fait que partout les communications y sont faciles; c'est là encore un avantage important pour le développement d'une grande cité.

Digitized by Google

Maintenant faisons l'anatomie de notre sol parisien ; disséquons les couches dont il est composé ; ceci nous fera découvrir une extrême variété de matériaux utiles à l'industrie. L'étage le plus bas, est celui de la craie ; la craie s'emploie pour marner les champs ; mélangée avec une certaine proportion d'argile, elle constitue la chaux hydraulique, le ciment romain ; débarrassée des particules siliceuses, elle forme le blanc d'Espagne, précieux pour la peinture et nos usages domestiques.

Au-dessus de la craie, se trouve l'étage de l'argile plastique ; il renferme une multitude de bancs différents, notamment de l'argile convenable pour modeler et fabriquer des tuiles, des poteries, des faïences.

L'étage du calcaire grossier nous est plus utile encore, c'est à lui que Paris doit la magnificence de ses monuments. Lorsque ses bancs sont peu continus, on en fait des moellons ; quand ils sont étendus et durs, ils donnent d'admirables pierres de taille. Il est aujourd'hui reconnu que c'est l'exploitation du calcaire grossier qui a donné naissance aux catacombes de Paris. Cette pierre avec laquelle sont bâtis nos palais et nos maisons est en partie formée par des êtres microscopiques, voisins des Infusoires, que l'on appelle Foraminifères. Alcide d'Orbigny qui s'est livré à de très-importantes recherches sur ces animaux a reconnu que dans un pouce cube il y a cinquante huit mille Foraminifères, ce qui donne par mètre cube trois milliards trois cent soixante-sept millions de Foraminifères. Combien donc de milliards de ces petits ouvriers ont travaillé à constituer notre sol?

L'étage du gypse ou pierre à plâtre est encore une des richesses de Paris; très-peu de villes ont ainsi à leur porte des carrières de gypse. Pour l'extraire, on a profondément excavé Montmartre et les buttes Chaumont; le bassin de la cascade que l'on établit en ce moment au pied des buttes Chaumont n'est autre chose que le fond d'une ancienne carrière. Sans doute les ouvriers qui autrefois, dans ces buttes, ont tiré la pierre à plâtre, ne se doutaient guère qu'ils préparaient les embellissements d'une des promenades de la ville de Paris. A l'étage du gypse, se rattache la pierre de Château-Landon que sa dureté rend précieuse pour les beaux travaux : comme exemple d'ouvrages faits avec cette pierre, je vous citerai les balustrades des rampes de l'église Saint-Vincent de Paul.

En s'élevant plus haut dans le bassin de Paris, on rencontre des sables et des grès, qui présentent de bons matériaux pour le pavage. Lorsque des courants d'eau ont creusé les vallées, les sables ont été emportés facilement; les grès placés au-dessus d'eux n'ont pu être attaqués de même, et n'ayant plus de soutien, ils se sont éboulés, sont tombés les uns sur les autres, et ont produit les désordres qui rendent si pittoresques les paysages de la forêt de Fontainebleau.

Les grès sont surmontés par les calcaires de Beauce et les pierres meulières qui ont été très-recherchées pour les fortifications de Paris, et sont fréquemment employées pour les constructions où l'on redoute l'humidité.

Enfin, quand on descend dans l'intérieur des vallées, on trouve le *diluvium*, composé de sables et de cailloux roulés que l'on exploite pour macadamiser les routes. Il est souvent caché par un limon appelé *lœss* avec lequel on fait des briques.

Cette énumération, quoique longue, est cependant très-abrégée ; les étages du bassin de Paris se subdivisent en un grand nombre de couches dans le détail desquelles je n'ai pu entrer. Vous voyez, messieurs, quelle variété présentent nos terrains, et quel profit on en peut tirer pour l'architecture. Avez-vous à bâtir une maison? Le calcaire grossier vous donnera moellons et pierres de taille. Êtes-vous grands seigneurs, voulez-vous des balustrades à vos perrons? voici la pierre de Château-Landon. Désirez-vous une villa aux environs de Paris? voici la pierre meulière. Faut-il couvrir vos habitations? avec l'argile plastique, on vous fabriquera des tuiles. Pour faire vos plafonds et vos cloisons, vous ne manquerez pas de pierre à plâtre.

A Londres, on trouve des conditions très-différentes; rien de ce qui est dans cette ville ne ressemble à ce qui est à Paris et cette dissemblance remonte jusqu'aux temps géologiques. Londres est établi sur la terre glaise que l'on nomme *London-clay* et *plastic-clay*. Il en résulte qu'après avoir admiré les proportions grandioses des rues, des squares et des parcs, si l'on considère les maisons, on est frappé de leur chétive apparence : la plupart ne sont construites qu'avec de la terre cuite. Lorsqu'on a élevé la cathédrale de Saint-Paul, on a été obligé d'aller jusque dans l'île de Portland pour trouver de bonnes pierres; et quand on a construit le palais du parlement, on en a cherché encore plus loin ; une partie des pierres a été prise en Normandie. La cherté des matériaux de construction à Londres empêche de croire que cette ville soit susceptible de recevoir de très-grands embellissements, au lieu qu'on ne peut fixer la limite à laquelle s'arrêtera la magnificence toujours croissante de Paris.

La variété des terrains qui a permis de couvrir notre pays d'édifices et de maisons bourgeoises belles comme des palais, n'a pas servi l'agriculture moins bien que l'architecture. La diversité exceptionnelle des cultures aux environs de Paris tient certainement en grande partie à celle des terrains. Je n'ai pas besoin dans un cercle agricole de rappeler que chaque plante affectionne tel ou tel sol. Nous avons de l'argile pour rendre nos terres plus fortes, du sable pour les diviser, de la craie pour marner nos champs de céréales, du plâtre pour amender nos champs de légumineuses. Vous connaissez peut-être cette anecdote que l'on raconte de Franklin : Il emporta aux État-Unis du plâtre de Paris. Dans un champ semé de luzerne aux environs de Washington, il traça en grand avec de la poudre de plâtre les mots : *ceci est plâtré*. Sur les points où étaient écrits ces mots, les plantes se développèrent avec vigueur, tranchant avec le reste du champ qui avait une maigre apparence, et par là Franklin apprit au peuple américain le parti qu'on peut tirer du plâtre pour la culture des légumineuses.

Ainsi, messieurs, la constitution géologique de notre bassin a été pour nous une source de richesse. Nous ne pourrions sans ingratitude laisser de côté l'histoire primitive de notre sol : les flots des lacs et des mers des anciens âges qui, tour à tour, nous ont apporté craie, argile, calcaire travertin, sable, pierre à plâtre, les actifs foraminifères qui ont édifié notre calcaire grossier n'ont pas été sans influence sur nos destinées. Longtemps avant le jour où la race humaine parut, les événements qui se passèrent dans le pays parisien contribuèrent à préparer cette prospérité exceptionnelle, qui fait qu'aujourd'hui chacun de nous est heureux de se dire enfant de naissance, ou fils adoptif de la bonne ville de Paris.

Digitized by Google

§ III

Comment se sont accomplis ces événements ? C'est ce qu'il me reste à exposer.

La craie renferme des térébratules, des peignes, des huîtres, des oursins, des dents de poissons qui rappellent les animaux des océans; il faut en conclure que, pendant son dépôt,

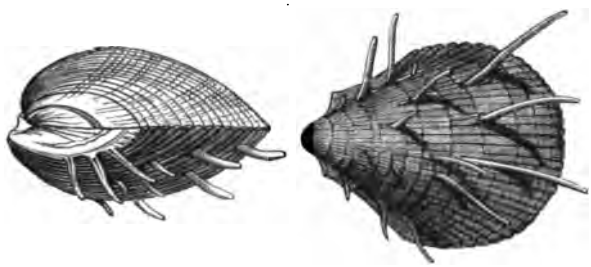


Fig. — 276. — *Spondylus spinosus* (étage de la craie).

notre pays était couvert par les eaux de la mer. Mais d'une part la craie a une très-grande profondeur, comme l'ont prouvé les forages des puits artésiens; d'un autre côté, on a lieu de supposer que les dépôts se forment lentement dans la mer. On doit donc admettre que le sol de Paris est resté sous les eaux des océans pendant un temps immense, sans doute effrayant pour notre faible imagination.

Dans l'étage de l'argile plastique, on trouve des colimaçons, des cyclostomes, des physes, c'est-à-dire des coquilles qui habitent ou sur la terre ferme ou dans les eaux douces; on y voit aussi des restes d'oiseaux (*Gastornis*), ou de quadrupèdes (*Coryphodon*) qui n'ont pu vivre dans la mer. Cela montre qu'après le dépôt de la craie notre pays a été exhaussé; une riche végétation a dû se développer, car les plantes ont formé des accumulations d'une sorte de charbon de terre qu'on appelle lignite. Ce nouveau continent, sur lequel brillèrent les premières fleurs que le ciel parisien ait vu éclore, sur lequel marchèrent les premiers quadrupèdes, était mal affermi; il s'affaissa quelquefois au-dessous du niveau des océans, puis il se releva, s'affaissa encore, s'exhaussa de nouveau. Ce qui prouve ces oscillations, c'est qu'on rencontre superposées alternativement des couches qui renferment des restes d'animaux terrestres et des bancs où sont enfouies des coquilles marines; il y a par

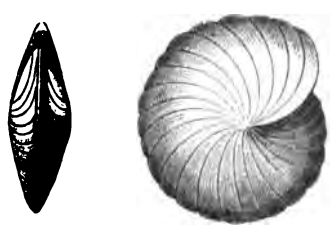


Fig. 277. — *Nummulites planulata* (étage de l'argile plastique).

exemple une huître (*Ostrea bellovacina*) qui est commune dans un de ces bancs, quoiqu'elle ressemble beaucoup à notre huître comestible.

Si l'étage de l'argile plastique a représenté surtout une époque d'exhaussement, l'étage du calcaire grossier représente surtout une époque d'affaissement; il est célèbre par la beauté et la multitude de ses coquilles marines. M. le marquis de Raincourt en a composé une très-belle collection.

Fig. 278. — *Cypræa elegans* (étage du calcaire grossier).

L'aspect de ces coquilles est à peu près le même que celui de nos espèces vivantes; mais quand on les étudie attentivement,

Fig. 279. — *Cerithium hexagonum* (étage du calcaire grossier).

on observe quelques différences. Ces différences si légères d'où viennent-elles? N'y a-t-il pas un lien entre les êtres des âges passés et les êtres des temps actuels?

Fig. 280. — *Tiphis tubulifer* (étage du calcaire grossier).

L'époque suivante, qui vit se former la pierre à plâtre, a été remarquable par ses quadrupèdes terrestres; parmi les plus connus, je citerai le *Palæotherium* dont la restauration a été due au génie de Cuvier; il avait une petite trompe comme le tapir, mais il se distingue de ce dernier par la disposition des dents et des pieds; on en comptait plusieurs espèces. Son acolyte, l'*Anoplotherium*, a également été illustré par les travaux de Cuvier; il ressemblait davantage aux ruminants. Le *Xiphodon* s'en rapprochait encore plus; ce devait être une bête charmante, aussi légère que nos gazelles actuelles. On a trouvé dans la pierre à plâtre de Paris bien d'autres ani-

Digitized by Google

maux : une sorte de cochon qui a été appelé le *Chœropotame*, une sarigue, une chauve-souris, un loir, un écureuil, des oiseaux, des tortues, des crocodiles ; on a découvert des troncs de palmiers. Personne n'a rencontré les preuves de l'existence de grands carnassiers à l'époque où la pierre à plâtre a été déposée ; c'est qu'alors les puissants carnivores n'étaient pas nécessaires pour modérer le développement des herbivores. Les terribles reptiles des temps secondaires, pléiosaures et mégalosaures avaient complétement disparu ; les mammifères gigantesques, mastodontes, Dinotherium n'étaient pas encore formés. Il faut nous représenter le monde organique au moment dont nous parlons comme offrant des scènes non pas de grandeur, de majesté, mais de tranquillité ; c'était alors comme un âge d'or pour le règne animal. Sans doute, messieurs, nous n'avons pas à envier les périodes primitives ; aucun spectacle ne surpasse celui d'une cité telle que la nôtre, où tant d'hommes, par leur activité toujours féconde, cherchent en quelque sorte à imiter le Créateur lui-même ; le bruit de nos marteaux, le sifflet de nos machines à vapeur, nos chants, nos cris forment un sublime concert. Mais les temps géologiques ont eu aussi leur genre de beauté ; bien doux, bien charmants devaient être nos paysages des environs de Paris, alors que nulle voix humaine ne venait interrompre la silencieuse harmonie de la vieille nature !

Durant la formation de la pierre à plâtre, la mer revint plusieurs fois dans notre pays ; les recherches que MM. Goubert, Brioche et Favre ont faites dans ces dernières années en fournissent la preuve. Cependant on peut dire que l'époque pendant laquelle la pierre à plâtre et la pierre de Château-Landon se déposèrent est surtout une phase d'exhaussement. Après cette époque, la mer envahit encore notre bassin et déposa au sommet de Montmartre de petites huîtres ; du côté d'Étampes, elle a laissé de nombreuses coquilles. C'est la dernière fois qu'elle visita le sol parisien ; plaise à Dieu que d'ici à longtemps elle n'y retourne pas !

Alors, se développèrent les grands quadrupèdes, les mastodontes, les Dinotherium, les Anthracotherium ; on a trouvé jusqu'à présent leurs débris, non dans nos environs, mais du côté d'Orléans ; ils ne rentrent pas dans le cadre de notre étude, puisque ce sont plutôt des orléanais que des parisiens. Ces animaux disparurent à leur tour. Pourquoi ces géants du vieux monde qui n'avaient point d'ennemis si puissants qu'eux se sont-ils éteints ? Pourquoi l'histoire du monde nous montre-t-elle une continuelle succession d'êtres qui arrivent et puis s'en vont pour ne plus revenir ?

Lorsqu'on se dirige du côté de Chartres, on découvre les restes d'une faune différente de celle d'Orléans ; là il n'y a plus de mastodontes, de Dinotherium, d'Anthracotherium, mais on rencontre des débris d'éléphants (*Elephas meridionalis*). La faune de Chartres passa comme toutes celles qui l'avaient précédée.

Ensuite, les phénomènes diluviens eurent lieu ; les eaux entamèrent les dépôts qui s'étaient autrefois formés dans les lacs et les mers ; elles creusèrent les vallées, et, en échange de tout ce qu'elles enlevèrent, elles laissèrent les légères couches du diluvium et du loess. C'est vers ce temps, ou un peu avant que naquirent les animaux antédiluviens : le mammouth, l'éléphant antique, le rhinocéros à narines cloisonnées, le grand hippopotame, des bœufs gigantesques, des rennes, des cerfs, des chevaux.

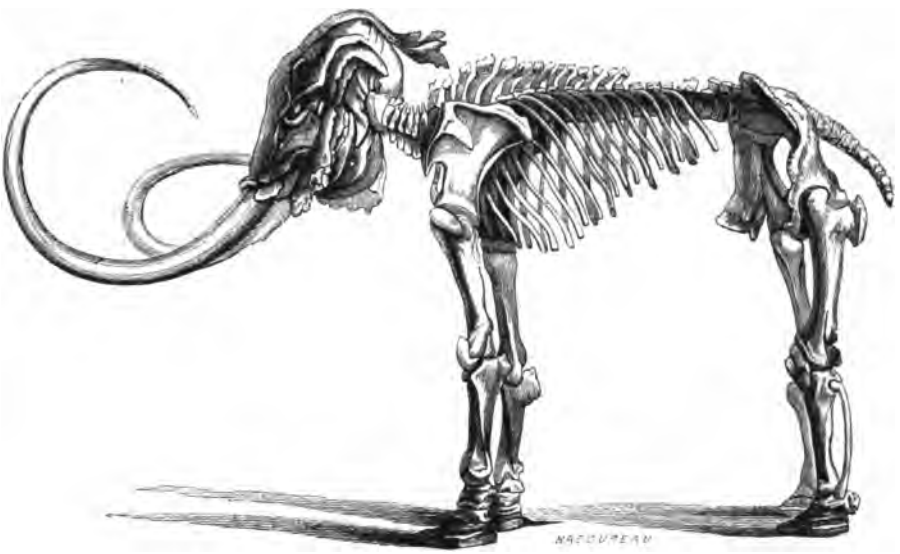


Fig. 281. — *Elephas primigenius* (Mammouth ; époque du *diluvium*).

Un jour ces animaux virent apparaître des êtres plus beaux qu'eux tous, sur le front desquels brillait le génie, et dont le regard semblait chercher la divinité : ces hôtes nouveaux c'étaient nos aïeux ; les monstres des temps géologiques reconnurent leurs maîtres, et leur laissèrent la place.

Contraste étrange ! on trouve des débris de l'industrie des hommes antédiluviens auprès du Champ de Mars où va se tenir l'Exposition de 1867. Sans doute les essais de nos premiers parents ont été très-imparfaits ; mais, dans l'industrie, il faut tenir compte de la difficulté, des circonstances au milieu desquelles les objets ont été fabriqués. Si, dans cette exposition où seront accumulés tant de produits divers, on faisait figurer les ouvrages de nos pères antédiluviens, on pourrait à juste titre leur donner une mention honorable ; car, si les grands industriels de notre époque sont dignes de récompenses, ils ont également bien mérité de l'humanité, ceux qui ont su

Digitized by Google

vaincre les derniers animaux des temps géologiques, et préparer la civilisation dont nous sommes fiers aujourd'hui.

ALBERT GAUDRY.

UNIVERSITÉ DE BERLIN.

ANATOMIE PATHOLOGIQUE (1).

COURS DE M. R. VIRCHOW
(Membre de la Chambre des députés de Prusse).

Physiologie générale des tumeurs.

Je me suis arrêté, la dernière fois, dans les considérations que je vous présentais sur l'homologie et sur l'hétérologie, au moment où j'allais développer mon opinion personnelle : d'après moi, dans l'homologie, le néoplasme doit être formé d'après le type de son point d'origine ou, pour être plus précis, du tissu mère (*matrix*) dont il provient ; au contraire, il y a hétérologie lorsque le nouveau produit diffère du type de la matrice dont il procède. Je crois que cette manière de voir aplanit les grandes difficultés contre lesquelles se sont brisées avant nous toutes les tentatives qui avaient pour but de démontrer morphologiquement l'hétérologie des tumeurs de mauvaise nature.

Plusieurs de nos meilleurs observateurs étaient depuis longtemps arrivés à ce résultat que, dans la disposition, dans la structure, dans les éléments des tumeurs, il n'y a rien d'absolument différent du type du corps, en un mot rien d'hétérologue. Personne ne s'est exprimé à ce sujet plus nettement que Jean Müller il y a déjà plus de vingt ans ; il établit, avec une précision remarquable, qu'il n'y a, en général, rien d'hétérologue dans la structure de ces néoplasmes, qu'en particulier, les formes des éléments, même dans les tumeurs cancéreuses, sont analogues à celles des éléments normaux du corps, ou, comme il le dit, répondent à des formations embryonnaires, c'est-à-dire aux éléments en voie de développement, mais qu'il ne se produit rien d'hétérologue à côté de ces éléments analogues aux anciens ou aux éléments embryonaires.

Si, déjà alors que l'on commençait à peine à soumettre les tumeurs à une analyse microscopique plus approfondie, une telle proposition a pu être énoncée avec autant de netteté, on aurait dû s'attendre à voir plutôt résolue la question de l'homologie et de l'hétérologie. Mais c'est précisément après Müller qu'est venue la période où la théorie des éléments spécifiques a été défendue avec le plus d'énergie et s'est le plus rapidement répandue. Ceux qui se refusaient à admettre des éléments spécifiques, se trouvaient dans une position quelque peu difficile, en ce que, tout en tenant bon sur le point capital, sur la nécessité de baser une division et de différencier les diverses tumeurs en particulier d'après le point de vue anatomique, ils ne pouvaient pas bien découvrir ce qui devait servir de critérium pour placer certaines tumeurs dans l'une ou l'autre catégorie. Müller dit tout simplement qu'il fallait étudier à ce point de vue les différentes tumeurs, et réunir des faits d'après lesquels on déterminerait la bénignité ou la malignité de chaque forme particulière. En général, il ne se laissa pas du tout aller à chercher des critériums généraux qui permissent de déterminer d'avance si une tumeur appartenait à l'une ou l'autre catégorie, pas plus qu'il ne rechercha le motif pour lequel elle serait maligne ; il pensait au contraire qu'il fallait réunir les caractères qui, résultant de l'observation, permissent d'établir la malignité de chaque forme particulière, comme on le fait pour chaque plante vénéneuse en particulier. Malgré cela, il divisa les tumeurs en cancéreuses, les unes qui étaient de *mauvaise nature*, les autres qui ne l'étaient pas.

D'autre part, il est aisé de comprendre comment des hommes à principes, une fois arrivés à la persuasion qu'une tumeur ne renferme en elle rien d'hétérologue, n'avaient qu'un pas à faire pour ranger, sans plus ample informé, la formation tout entière dans le cadre d'autres processus pathologiques. Dans tous ces cas, où le corps produit souvent très-rapidement des masses considérables de tissu nouveau, et cela évidemment par un accroissement d'activité formatrice, il doit y avoir une incitation particulière à une telle activité, un principe irritant ; par conséquent le processus est de nature irritative, et l'on arrive facilement à conclure que toute la série de ces phénomènes est à ranger à côté des autres processus irritatifs.

Toutefois, personne, dans ces derniers temps, n'est allé aussi loin que John Burns, qui décrivit le fongus médullaire comme une inflammation spongoïde ; de même, il y a quelque quarante ans à peine, l'école physiologique en France et surtout Broussais lui-même ne considéraient-ils pas encore les tumeurs comme une forme d'inflammation chronique et ne préféraient-ils pas rayer complétement les noms propres des tumeurs, parce que, par exemple, on ne pouvait distinguer un squirrhe d'une induration inflammatoire et qu'il n'y avait, par conséquent, aucun motif de faire du squirrhe une espèce particulière ? Carl Wenzell arriva à peu près aux mêmes résultats en identifiant complétement le squirrhe et l'induration et en considérant le carcinome comme l'inflammation siégeant dans des parties indurées. Sans même aller aussi loin et considérer chaque espèce de tumeurs comme un produit de l'inflammation, on n'en est pas moins conduit à les rapprocher des produits inflammatoires ; car il y a, en réalité, dans des cas d'inflammation, un stimulus, une influence extérieure ou intérieure qui donne naissance à des processus formateurs et à des produits nouveaux souvent si considérables, que, pour peu qu'ils ne consistent pas en produits inflammatoires connus, nous les rangerons, sans plus ample informé, au nombre des tumeurs proprement dites. Mais, pour certaines tumeurs, et c'est un fait reconnu déjà depuis Galien, le point de départ inflammatoire est évident, seulement le produit en paraît si limité et si *indépendant*, qu'il se présente comme quelque chose de tout à fait distinct du processus initial. On ne peut tracer nettement, en général, la ligne de démarcation entre les tumeurs inflammatoires et les autres, précisément parce qu'un état d'irritation se rencontre au fond de toutes les tumeurs néoplastiques et d'un grand nombre de tumeurs exsudatives et sécrétoires.

Cette direction dans les recherches conduit finalement oujours à prendre en considération l'étiologie et la genèse des tumeurs ; ici, suivant les tendances particulières de telle ou telle école, se présentent des interprétations très-diffé-

(1) Voy. le n° précédent et d'autres leçons de M. Virchow dans les n°s 6 (6 janvier 1866) et 9 (27 janvier 1866) de la 3e année de la *Revue des Cours scientifiques*.

Digitized by Google

rentes, dont il nous faut d'autant plus nous occuper que c'est surtout de là que l'on peut partir pour arriver à comprendre les tumeurs et à en faire une classification générale.

Il y a, dans ce but, trois points à considérer. D'abord, la *cause locale*, occasionnelle, qui décide le développement d'une tumeur en un point déterminé; en effet, comme on sait que la loi de causalité s'étend à toute nature vivante, on devra convenir de la nécessité d'une cause qui motive le développement d'une tumeur dans un endroit déterminé. Ici se rattache directement la seconde question, touchant la disposition favorable de l'endroit sur lequel l'action s'est produite, la cause prédisposante ou, en terme technique, la *prédisposition* de la partie, en vertu de laquelle existe la tendance de cette partie à contracter cette forme de la maladie. En troisième lieu, enfin, vient la cause générale que l'on peut se figurer comme consistant en une substance particulière ou bien en une altération spéciale des substances qui se trouvent dans les liquides animaux, en particulier une altération supposée du sang que l'on ramène finalement à une *dyscrasie*. Tels les trois points qui ont été le plus discutés, au sujet de la question du développement des tumeurs et de la place que doit occuper chacune d'elles : cause occasionnelle locale, prédisposition et dyscrasie.

Il en est toutefois pour lesquels deux de ces points se confondent en un seul. Pour un certain nombre de médecins, prédisposition et dyscrasie sont identiques, et d'après eux, il n'est besoin que d'une dyscrasie particulière ou, comme dit Chelius, d'une diathèse occulte, pour que, sous l'influence d'une occasion déterminée, il se développe une tumeur en un certain point. D'après d'autres, la cause occasionnelle particulière ne serait pas nécessaire pour que, la dyscrasie existant, un certain point devienne le siége du mal; il n'y faut que la prédisposition : qu'il survienne dans le sang, dit-on, une altération particulière et qu'il se trouve dans le corps un point prédisposé, le sang malade agira sur le point prédisposé (*locus minoris resistentiæ*) et provoquera le développement du mal.

La prédisposition locale sera alors en même temps la cause pour laquelle la lésion apparaît en un certain point. Mais plus on se figure qu'un processus est dyscrasique, plus on le fait dépendre d'altérations *générales* de la masse sanguine, et plus encore il entraîne naturellement en lui l'idée de danger et de malignité, tandis qu'il peut être regardé comme circonscrit et *local*, comme au moins relativement innocent et de bonne nature, lorsqu'il dépend de la prédisposition de certaines parties ou de causes occasionnelles locales. Dans les deux cas, il faut déjà être bien fixé sur la nature générale ou locale du travail morbide.

L'adjectif *constitutionnel*, qui est très-souvent employé, manque rigoureusement de clarté. Il peut se rapporter à une altération *humorale* persistante, dans laquelle on considère le sang comme le véhicule permanent de certaines propriétés; mais on peut tout aussi bien le comprendre comme une particularité et une propriété inhérente à un certain nombre de *tissus du corps*, prédisposant précisément ces tissus à certaines altérations et entraînant par elle-même la possibilité de l'apparition simultanée ou successive de lésions analogues sur différents points. L'entente a beaucoup souffert de ce que l'on n'a pas nettement distingué ces deux points et que l'on a théoriquement confondu, dans le même terme de *constitutionnel*, et les états morbides que l'on se représente comme dyscrasiques, et ceux que l'on rapporte à des modifications d'un certain nombre de tissus particuliers du corps. Il en est, en effet, souvent résulté qu'on a, sans ordre, rangé une classe entière dans l'une ou l'autre catégorie. Précisément de nos jours, dans les discussions des cinq dernières années, il est ressorti clairement combien il sera difficile, pour une série de pathologistes, de se mette ici à un point de vue désintéressé.

Figurons-nous voir se développer dans le corps, soit simultanément, soit successivement à courts intervalles, une série de tumeurs de la même espèce. Le grand nombre de ces tumeurs qui apparaissent en différents points du corps fait naître l'idée d'une lésion constitutionnelle; mais pour certains pathologistes il implique l'idée d'un principe humoral et conséquemment ils disent : de ce que, dans un temps relativement restreint, des tumeurs de même espèce se sont développées sur différents points du corps, il faut nécessairement en conclure à une altération primitive du sang. Mais cette conclusion paraît toujours très-douteuse, lorsque ces différents produits, quelque nombreux qu'ils soient, apparaissent dans des tissus ou des parties qui appartiennent *à un seul et même système*. Quand, au contraire, des produits *analogues* apparaissent dans des parties *très-différentes*, on ne peut plus alors s'en prendre au système comme tel, ni à la prédisposition locale particulière; car il s'agit probablement plutôt d'une cause générale, que nous nous figurons le plus aisément résider dans le sang. Prenons le cas où sur un même individu surviendraient des tumeurs de même espèce dans presque tous les os du squelette; nous ne serons pas pour cela autorisés à conclure que ce processus morbide doit être rapporté à une altération spécifique du sang: il peut bien se faire que tous ces os aient subi antérieurement déjà une certaine altération, qui devient manifeste plus tard à une certaine époque et qui produit les tumeurs. Il est des cas où des excroissances osseuses se forment sur presque tous les os du squelette : exostoses multiples. Leur multiplicité seule n'implique pas d'avance qu'il s'agit d'une dyscrasie; souvent il importe bien plus de savoir si les exostoses ne sont pas à considérer comme le reliquat régulier des lésions qui avaient, à une période antérieure de la vie, intéressé le développement osseux tout entier; mais ce qui s'applique aux exostoses s'applique également aux éruptions cancéreuses multiples, lorsqu'elles n'apparaissent que dans les os; il peut se faire alors que les cancers surviennent en vingt points différents du corps, mais seulement dans les os et non dans une autre partie.

On rencontre des phénomènes tout à fait analogues sur la surface extérieure du corps. Quelquefois des verrues se développent sur beaucoup de points du corps. Devons-nous en conclure immédiatement qu'il y a dyscrasie verruqueuse dans laquelle le sang contiendrait une verrucine par exemple et qui produirait toutes ces excroissances? D'autres fois il se forme sur différents points du corps des tumeurs graisseuses, des lipomes dans le tissu sous-cutané; nous pouvons même rencontrer ce qu'on a appelé une lipomatosie universelle. Devons-nous conclure de ces faits à l'existence d'une dyscrasie lipomateuse? En avançant de la sorte, on finit par arriver à de pures absurdités.

En effet, poursuivons cet exemple : la graisse du lipome ne diffère pas chimiquement de celle du tissu graisseux voisin; c'est la même espèce de graisse. Si, en réalité, il y avait beau-

Digitized by Google

coup de graisse dans le sang, qu'il y eût une lipémie, et que cette graisse se déposât dans les parties et formât des tumeurs, il serait permis de supposer que cette accumulation atteindrait tout le pannicule adipeux, qu'il y aurait une diathèse graisseuse générale, et nous pourrions nous figurer que la polysarcie se développe de cette manière. Mais on ne saurait invoquer une augmentation de la quantité de graisse contenue dans le sang et prétendre à une dyscrasie spéciale, lorsque en un ou plusieurs endroits seulement du tissu adipeux il se développe des tumeurs adipeuses.

Lorsque nous voyons se former un lipome dont le contenu graisseux augmente constamment chez un homme amaigri en général, chez lequel la graisse sous-cutanée diminue en masse, nous ne pouvons pas dire que ce soit la conséquence d'une dyscrasie générale; nous dirons qu'il doit exister une cause locale. Or, qu'il survienne quelque chose d'analogue en des points nombreux du pannicule adipeux, il est plus probable alors que la cause réside dans le tissu graisseux que dans la graisse contenue dans le sang. Si cette dernière hypothèse était vraie, chacun de nous, après un repas copieux, serait menacé d'avoir des lipomes; en mangeant beaucoup de pain beurré on pourrait se donner une dyscrasie lipomateuse, et chaque nourrisson serait exposé à ce danger, puisque à chaque repas il ingère régulièrement une notable quantité de graisse et se trouve pour ainsi dire dans une lipémie chronique.

Ainsi, le fait seul de la multiplicité de tumeurs, de l'existence d'une éruption multiple sur plusieurs parties du corps, nous permet d'autant moins de conclure avec certitude à l'existence d'un principe dyscrasique, que, dans le plus grand nombre de ces cas, le point de départ de ces altérations réside dans un système organique ou un tissu déterminé. On conviendra qu'il est indifférent que l'éruption se fasse dans des points éloignés ou rapprochés les uns des autres. Car lorsqu'il se développe une tumeur à chaque doigt d'une main, comme cela arrive assez souvent pour les tumeurs cartilagineuses, ces os sont tout aussi séparés les uns des autres, tant pour ce qui est de la circulation que des autres tissus, que si l'une des tumeurs siégeait à la phalange, l'autre à l'avant-bras et la troisième à la clavicule. Il est indifférent que les os soient un peu plus rapprochés ou éloignés les uns des autres; mais si ce sont toujours les os, alors je chercherai à savoir quelle cause morbide particulière a pu y résider. Ainsi lorsque, dans ces derniers temps, on a publié souvent des faits où, sans cause occasionnelle apparente, des tumeurs analogues s'étaient développées dans plusieurs parties du corps, — dans les différentes régions et non dans les différents organes, — on a eu tort de présenter tout de suite ces faits comme une preuve de la nature dyscrasique de ces tumeurs.

Pour ma part, je n'ai pas la moindre hésitation, dans l'état actuel de nos connaissances, à céder à la nécessité et à chercher dans le sang, par conséquent dans un principe dyscrasique, la cause du développement de certaines tumeurs. Je ne connais pas du moins d'autre explication à un certain nombre de maladies, par exemple les tumeurs syphilitiques et beaucoup de cancers. Seulement il faut faire une différence entre ces maladies. Quelquefois, comme dans les tumeurs leucémiques, dans les goîtres, il peut à peine surgir un doute sur l'antériorité de la dyscrasie relativement aux tumeurs. Dans un nombre beaucoup plus considérable de cas, au contraire, l'altération du sang, la dyscrasie qui cause l'éruption de nouvelles tumeurs, doit être considérée comme un *phénomène deutéropathique;* elle n'est pas résultée d'une altération « spontanée » quelconque, qui s'est faite dans le sang et y a produit, par une voie extraordinaire, des substances chimiques spécifiques; elle résulte bien plutôt de l'absorption, de l'introduction dans la circulation de substances provenant d'une tumeur préexistante, d'un foyer qui n'a pas besoin, à son tour, de dériver du sang.

Si, en un point déterminé du corps, il se développe une tumeur pathologique qui croît rapidement, qui, par conséquent, soutire au sang une quantité de substances qu'elle transforme, on comprend que de cette tumeur aussi, à son tour, de grandes quantités de substances puissent rentrer dans la circulation générale. Ce retour se fait, comme on sait, par les vaisseaux lymphatiques et les veines.

Pour ce qui est du retour par les vaisseaux lymphatiques (et nous savons par les recherches de Schrœder van der Kolk que, même dans le cancer, on trouve de nombreux vaisseaux lymphatiques), nous savons exister, dans la plupart des points du corps du moins, une disposition telle que les vaisseaux lymphatiques se rendent d'abord dans les glandes lymphatiques, cessent dans l'épaisseur de ces glandes de former des vaisseaux à parois propres, et se réunissent de nouveau au sortir des glandes, pour continuer leur cours comme véritables canaux. La preuve d'un transport réel de matières hors de la tumeur est des plus évidentes, lorsque dans une foule de faits, précisément les glandes qui reçoivent les premières les lymphathiques provenant de la tumeur, sont aussi les premières le siége de la nouvelle affection. Il serait parfaitement absurde de se figurer que la maladie des glandes lymphatiques fût alors la conséquence d'une dyscrasie générale. Une femme, par exemple, a une tumeur du sein, qui n'entraîne, pendant des mois peut-être, aucune autre conséquence; puis, tandis qu'elle commence à subir un accroissement plus considérable, les glandes axillaires se tuméfient. Après un certain temps, cette tuméfaction augmente. D'abord, ce ne sont que les glandes situées le plus près du sein; puis viennent les glandes voisines de celles-ci, et si la personne vient à mourir, nous trouvons que l'affection s'étend graduellement le long de la chaîne ganglionnaire vers l'intérieur du corps. Ou bien encore, dans une tumeur de l'estomac, il peut arriver, lorsque la maladie n'est pas encore très-avancée, qu'elle soit limitée aux parois de l'estomac. Mais si elle est un peu plus avancée, les glandes lymphatiques épigastriques seront presque toujours affectées, et plus l'accroissement du mal est rapide, d'autant mieux nous pouvons suivre l'altération successive des glandes plus éloignées; les glandes du médiastin postérieur sont atteintes à leur tour et enfin les jugulaires situées à l'embouchure du canal thoracique. C'est identiquement ce que nous voyons pour le transport des liquides dans les processus inflammatoires: le liquide pathologique arrive d'abord à la première glande qu'il rencontre; celle-ci devient malade; de là le liquide est transporté à une seconde glande, qui s'altère à son tour, et ainsi de suite. Il n'y a pas ici, dans le fait, d'autre hypothèse possible que celle d'une substance matérielle quelconque, qui, du premier point affecté, pénètre dans les vaisseaux lymphatiques et qui, transportée par ceux-ci dans la glande lymphatique la plus rapprochée, y provoque la maladie par une vraie *métastase*, et ainsi de suite. Enfin arrivera naturellement le cas où il partira, des glandes affectés, des vaisseaux lymphatiques qui n'auront

Digitized by Google

plus de nouveau à traverser de glandes lymphatiques, mais qui verseront directement leur lymphe dans le torrent général de la circulation. La substance nuisible arrivera ainsi dans la grande circulation, et il en résultera nécessairement une dyscrasie.

Il est beaucoup plus difficile, toutefois, de faire la même démonstration pour les veines, parce qu'elles ne nous présentent aucune disposition analogue aux glandes lymphatiques qui nous servent pour ainsi dire de réactifs sur la substance dyscrasique.

Nous savons que des veines émergent des tumeurs. Nous savons, de plus, qu'il n'est pas très-rare que la masse de la tumeur pénètre dans la lumière des veines, de façon à se trouver en contact avec le sang en circulation; la masse de la tumeur alors fait saillie sous forme d'excroissance dans la lumière du vaisseau et se trouve en rapport immédiat avec le

Fig. 282. — Cancer partant des glandes lombaires et pénétrant dans la veine cave inférieure. *a*. Glande lymphatique augmentée de volume, cancéreuse, adhérente à la paroi veineuse qu'elle repousse vers la lumière du vaisseau. *b*. Coupe d'une glande semblable d'où part une excroissance ramifiée qui pend dans la lumière même de la veine.

sang, rapports identiques avec ceux qui, dans le placenta, existent entre les villosités de l'enfant et le sang de la mère, entre lesquels, on le sait, il se fait un échange très-rapide de matériaux. Il est en soi très-probable que, dans ces conditions, des particules de la tumeur arrivent dans la circulation, qu'elles soient à l'état liquide, ou qu'elles consistent, suivant les circonstances, en parcelles de tissus, même en cellules seulement. Il est du moins infiniment probable que c'est ainsi que se développent les affections identiques dans des parties éloignées, les métastases semblables à ce que nous observons directement dans la circulation lymphatique; cette opinion s'étaye sur les faits où une tumeur occupant un certain point pendant un temps assez long, la maladie frappe l'organe le plus rapproché suivant le courant circulatoire, comme cela arrive le plus souvent pour le foie.

La disposition du foie, relativement à la circulation veineuse, se rapproche le plus, comparativement, de celle des glandes lymphatiques. Qu'une tumeur maligne se forme dans un organe quelconque de la cavité abdominale, dont les veines se déversent dans la veine porte, et que le sang en entraîne une substance nuisible, le foie sera l'organe le premier contaminé par ces parties nuisibles qui arrivent en contact avec lui. Dans le fait, le foie est de tous les organes celui qui subit le plus tôt l'atteinte secondaire dans toutes les affections malignes qui apparaissent primitivement dans la sphère de la veine porte, tandis qu'il ne montre aucune disposition prédominante à la maladie dans les affections qui apparaissent d'abord en dehors de la sphère de distribution de cette même veine porte. Le foie est tellement disposé à contracter ces maladies qu'aujourd'hui même il arrive souvent dans les autopsies que la source primitive du mal soit méconnue et qu'à la clinique, comme à l'amphithéâtre, on prenne quelque cas pour un simple cancer du foie, tandis qu'une recherche attentive montre que l'affection du foie n'est que secondaire, que le cancer du foie n'est qu'un phénomène deutéropathique qui est à mettre en parallèle avec l'affection secondaire des glandes lymphatiques, comme elle se rencontre dans tant d'autres cas.

De telles observations parlent haut en faveur de l'opinion que la *tumeur première est un foyer d'infection*, foyer duquel partent et se répandent certaines substances nuisibles pour arriver en d'autres points. Cette conclusion finale est si naturelle et nécessaire que même les auteurs qui, tels que Scarpa, rapportent déjà au premier « dépôt » de la substance néoplasique une altération quelconque dérivée du sang, ceux-là mêmes admettent que, dans la substance déposée qui se trouve au début dans un certain état de repos, le poison se développe ensuite par une élaboration locale et réagit à cet état sur l'organisme. Mais la preuve de cette altération primitive manque. On s'est, il est vrai, dans la discussion de cette question, très-souvent rejeté sur un nouveau fait qui a été regardé comme particulièrement démonstratif pour la nature primitivement constitutionnelle ou dyscrasique. On disait, en effet : il arrive très-souvent qu'une tumeur maligne, à une place quelconque, soit enlevée par une opération, et que cette ablation ne soit pas suivie de récidive sur place. Mais le danger est alors dans la formation d'une nouvelle tumeur de même espèce dans une autre partie du corps, peut-être dans un organe interne. On en a conclu que la cause véritable devait persister dans le corps, quand même on avait enlevé le foyer apparent; on a été plus loin, en disant qu'on avait tort d'enlever la tumeur primitive qui se trouvait en un point extérieur et sans danger imminent, et de contraindre ainsi le sang à choisir un autre organe, sur lequel il puisse déchaîner sa mauvaise humeur et qui doive maintenant devenir l'organe receptacle des sucs malins.

John Simon, un des pathologistes modernes les plus riches d'idées, a fondé, sur de telles considérations, une doctrine très-séduisante de la valeur de ces tumeurs. Il regarde la tumeur cancéreuse comme une glande, comme un organe sécrétoire de nouvelle formation, dont le but, ou tout au moins le résultat, est d'extraire les substances nuisibles du corps, ou, pour être plus exact, hors des sucs en circulation, et de dépurer ainsi le sang. De même que les reins prennent au sang l'urée, substance nuisible par elle-même, de même, pensait Simon, le cancer devait attirer à lui certaines substances nuisibles contenues dans le sang, se les incorporer, et ainsi en même temps purifier le sang et préserver d'autres organes de l'action de ces substances nuisibles. Si maintenant une telle tumeur finissait par s'ouvrir et s'ulcérer, c'est-à-dire venait en réalité à sécréter, on aurait alors, jusqu'à un certain point, un organe sécrétoire ouvert, qui rejetterait hors du corps les substances nuisibles, et la dyscrasie serait éloignée pour un

Digitized by Google

certain temps au moins. A ce point de vue on comprend qu'une extirpation d'une tumeur éliminatrice serait aussi nuisible que le serait, par exemple, l'extirpation d'un rein. Le malheureux individu qui perdrait l'organe éliminatoire, précisément approprié à son état de santé, encourrait le plus grand danger par la perturbation brusque qui surviendrait dans l'état de choses relativement physiologique qui s'était péniblement établi dans son organisme.

Malgré tout ce que les faits physiologiques en général et certaines observations pathologiques auraient de favorable à une semblable doctrine, il n'y en pas moins déjà un sujet de doute émis dans l'argumentation. Le danger qui résulte de l'extirpation de la tumeur ne réside pas dans l'infection croissante de la masse sanguine, dans un état comparable à l'urémie consécutive à la néphrotomie, mais bien dans la reproduction de la tumeur, et, pour suivre notre exemple, dans la reproduction des reins après la néphrotomie; mais passons outre, et nous trouvons plus loin que, dès qu'une tumeur est extirpée et que d'autres tumeurs semblables se développent dans le voisinage de celle-ci ou dans des points éloignés, on admet à priori que celles-ci se développent après l'extirpation. C'est là le point qui, dans cette théorie, renferme la pétition de principe. Nous savons, en effet, qu'à l'époque où l'on extirpe des tumeurs, d'autres parties sont déjà très-souvent atteintes, mais ne le sont pas encore de façon à présenter des symptômes reconnaissables à un examen chirurgical superficiel. Ces altérations, qui existent déjà à l'état latent, se trouvent quelquefois dans le voisinage immédiat d'une tumeur. Le chirurgien croit opérer dans des tissus sains, il extirpe complétement la tumeur; mais, quand on regarde de près, on trouve, ce que du reste les bons chirugiens savent depuis plus d'un siècle, que le tissu restant est déjà malade. Schroeder van der Kolk, en s'occupant particulièrement de l'importance du fait pour les opérations, a démontré d'une façon remarquable jusqu'où cette atteinte morbide peut parfois s'étendre dans les tissus, en apparence sains, du voisinage, et comment elle se propage, en particulier, dans les muscles environnants, les nerfs, etc.

Ou bien, peut-être, aura-t-on extirpé entièrement la tumeur sur place; l'exploration des glandes lymphatiques voisines par le toucher n'y révèle encore rien; elles ne semblent pas seulement augmentées de volume, tout au plus un peu tuméfiées comme dans tous les états irritatifs. On ne les enlève pas et peu après elles commencent à croître et forment une tumeur à leur tour; elles peuvent même atteindre un développement plus grand que la tumeur primitive. J'ai vu plus d'une fois amputer la verge pour un carcinome de cet organe, du volume d'une pomme ordinaire, à une époque où il ne semblait y avoir aucune autre altération dans d'autres parties. Quelque temps après, l'homme revenait à l'hôpital pour une tumeur inguinale du volume d'une tête de fœtus; plus tard l'ulcération, étendue à une énorme surface, prit un caractère sérieux. Personne n'en concluera que la dyscrasie, après avoir perdu son point d'éruption, la verge, avait choisi comme tel les glandes inguinales; au contraire, nous devons en tirer cette conclusion qu'à l'époque où le pénis a été amputé, les glandes inguinales étaient déjà malades, et que, si le pénis n'avait pas été enlevé, elles auraient subi néanmoins le même accroissement.

Les choses ne se passent souvent pas différemment dans les organes internes. A l'autopsie de gens qui paraissent n'avoir qu'une tumeur externe, il n'est pas extraordinaire de trouver des tumeurs dans plusieurs organes internes, dont on n'avait pas soupçonné l'état morbide pendant la vie du malade. On rencontre des tumeurs dans les poumons, dans les reins, dans le foie, sans qu'on en ait eu la moindre idée, parce qu'elles ne proéminaient pas, ne troublaient pas visiblement la fonction de l'organe, parce qu'en un mot aucun symptôme ne trahissait leur présence. Dans le cas où une personne vient à mourir quelque temps après avoir subi l'extirpation d'une tumeur externe et que l'on trouve aussi des tumeurs dans les organes internes, on ne peut admettre simplement que ces tumeurs se sont formées après l'extirpation et *par suite* de celle-ci. J'ai vu moi-même une personne subir l'amputation du sein et se faire ensuite une fracture spontanée du fémur, consécutive à une tumeur analogue, qu'on prétendait ne s'être développée dans cet os qu'après l'extirpation. Un cas semblable serait probant, si les mêmes tumeurs, les mêmes fractures spontanées ne se rencontraient pas chez des personnes qui n'ont subi aucune extirpation. Dans tous ces cas, il est beaucoup plus naturel, beaucoup plus compréhensible, plus conforme à ce que nous apprend du reste l'anatomie et la physiologie, d'admettre que la tumeur secondaire existait

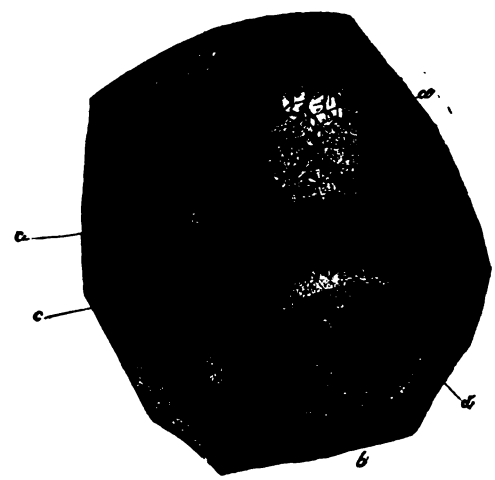


Fig. 283. — Éruptions secondaires multiples de cancroïde du foie vus à la surface et sur la coupe de l'organe. En *c*, *c* tout petits foyers récents. Les gros noyaux *a*, *b* formés de nombreux petits noyaux; *d* une veine coupée.

déjà lors de l'extirpation, mais peu développée, et qu'il a fallu un certain temps pour qu'elle s'accrût de façon à entraîner des désordres reconnaissables et à se trahir par un symptôme.

C'est pourquoi je ne considère ni les *récidives* proprement dites, c'est-à-dire la reproduction de la masse de la tumeur au point opéré, ni l'apparition de tumeurs semblables dans des organes éloignés, ce que l'on appelle ordinairement de nos jours la *généralisation*, comme étant indépendantes de la première tumeur, comme le résultat de l'action d'une dyscrasie sur ces parties. Nous voyons précisément dans les récidives locales, de la manière la plus précise, comment elles se produisent par l'extension pas à pas du mal, partant du point le premier affecté pour s'étendre vers les parties voisines et comment elles progressent de la même manière sans l'intervention d'aucune opération. C'est là une marche qu'il faut exactement connaître pour bien saisir, en général, le mode d'*accroissement* de la plupart des tumeurs.

Digitized by Google

Ordinairement on se figure que, lorsqu'une tumeur se forme dans une partie quelconque, elle se développe par elle-même. Il est des auteurs d'après lesquels il se déposerait toujours de nouveaux exsudats, aux dépens desquels se formeraient de nouvelles tumeurs. D'autres admettent que la tumeur s'assimile continuellement de nouvelles substances et s'accroît ainsi par intus-susception. Cela est en soi indifférent; car la plupart sont d'accord pour admettre que la tumeur s'accroît par elle-même, que les parties voisines sont soumises à une pression proportionnelle au degré de cet accroissement et que la compression exercée par la tumeur les atrophie et finit par les faire disparaître. Lorsqu'une tumeur siége immédiatement à la surface d'un organe, on sait qu'en général elle ne se développe pas également dans tous les sens, mais que la partie surtout qui est dans l'épaisseur de l'organe s'accroît toujours davantage. Mais ici aussi on se figure que l'accroissement se fait du dedans au dehors de la tumeur. Cela n'est pas exact en général. Tout au plus une telle disposition se rencontre-t-elle dans quelques formes bénignes et plus innocentes, mais elle devient d'autant moins vraie que la malignité du néoplasme est plus marquée. Ainsi dans le dernier exemple on peut se convaincre positivement que ce n'est pas l'ancienne tumeur, la chose existant à un moment donné qui s'accroît en soi et par soi, mais bien qu'il se reforme toujours *de nouveaux foyers accessoires dans le voisinage*, par l'adjonction desquels la tumeur s'accroît et qu'ainsi la grosse tubérosité que l'on finit par avoir n'est qu'*une somme, un multiple de petits foyers* qui se réunissent entre eux, se confondent et finissent par figurer un corps unique en apparence.

L'accroissement se fait donc de telle sorte que le petit noyau

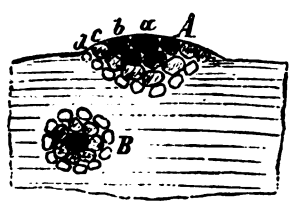


Fig. 284. — Représentation schématique du développement des tumeurs. *A* Un noyau occupant la surface d'un organe : *a* la partie la plus ancienne (noyau mère); *b* couche plus récente de noyaux secondaires ; *c* couche plus jeune encore. *B* Noyau collectif semblable dans l'intérieur d'un organe, avec des zones circulaires de noyaux accessoires.

existant d'abord ou *nodosité mère* (*Mutter-Knoten*), comme je l'appellerai, ne s'accroît que jusqu'à un certain volume; puis il cesse de croître. Mais, pendant ce temps, il se forme de nouveaux noyaux autour de lui, une zone de nouveaux *foyers*.

Ces nouveaux foyers peuvent finir par devenir si gros qu'ils se touchent les uns les autres et se confondent tant entre eux qu'avec la masse principale. Puis se forme une nouvelle zone; il est vrai, comme je tiens particulièrement à le faire remarquer, que les nodosités accessoires ne sont pas toujours dans un rapport de voisinage immédiat avec les nodosités primitives; il n'est pas rare de les rencontrer séparées par un certain intervalle de tissu fin.

Cet *accroissement par foyers* montre d'une façon très-positive que le noyau mère exerce sur les parties voisines une certaine incitation, qui provoque dans les parties voisines un processus analogue à celui qui a présidé au développement de la tumeur primitive. En effet, l'observation directe montre que les noyaux accessoires procèdent d'une prolifération des éléments de tissus environnants et non, comme on l'admettait encore il y a peu de temps, d'un exsudat ou d'un blastème exsudé. L'action qui s'exerce dans l'intimité des tissus solides ne se conçoit guère autrement que par l'intermédiaire de liquides, de *sucs*, de sucs qui se sont formés dans la nodosité mère, qui partent de là pour pénétrer par voie d'imbibition les parties voisines et y provoquer les nouveaux désordres.

Il en est ici absolument de même que dans la propagation de plus d'un processus inflammatoire. Que l'on observe un érysipèle : le procès morbide gagne de place en place, un point se prend après l'autre, et nous ne pouvons cependant méconnaître que la maladie, dans sa dernière localisation, ne soit une suite de la première affection, que le point le dernier atteint n'ait été sollicité par le premier point malade à une affection identique.

Autre exemple : il se développe à la surface du corps une pustule d'un contenu un peu irritant, ce liquide coule sur les parties voisines, où se développent des pustules analogues. Que l'on se rappelle certaines affections syphilitiques, par exemple les condylomes plats (plaques muqueuses), où la lésion se propage de place en place. Dans bien des cas de développement de tumeur, il n'est guère possible d'admettre un autre mode de propagation que celui où un suc ou une humeur nuisible se produit sur place, pénètre dans les parties voisines, y sert de nouvel incitateur à une production analogue et provoque ainsi la formation du nouveau foyer morbide. Comment veut-on expliquer autrement ces hideuses formes de squirrhe, où la peau s'altère dans une étendue toujours plus grande, parfois sur une étendue de plus d'un pied carré, autour d'un foyer primitivement très-circonscrit (cancer en cuirasse)?

A mon avis, l'étude de l'accroissement local des nodosités est précisément un des exemples les plus probants de la nature infectieuse des substances qui se développent dans le corps de la tumeur; et la formation de ces nouveaux foyers, ou ce que l'on a appelé, en un mot, l'*accroissement de la tumeur*, est pour moi analogue à l'atteinte morbide des glandes lymphatiques et à celle d'autres organes éloignés dans le cours de la généralisation du mal. Dans ces trois cas, nous avons une *infection*, une sorte de contagion, où une substance infectieuse, un « miasme » part du point de première formation pour s'étendre en partie par la voie de l'imbibition directe, de la simple endosmose ou de l'immigration dans le voisinage; partie par la voie du courant lymphatique, jusqu'aux glandes lymphatiques les plus proches; partie enfin par la voie de la circulation sanguine, où elle pénètre lorsque le mal atteint les parois des veines.

La question de savoir s'il n'y a ici qu'une absorption de sucs en jeu est beaucoup plus difficile à résoudre, et je ne nie pas qu'elle ne soit possible, et même dans certains cas probable ; que non-seulement des sucs, mais encore des éléments morphologiques, particulièrement des cellules, ne soient entraînés par le courant et ne jouent en même temps le rôle de moyen d'inoculation.

Il n'est, en effet, pas rare de trouver des vaisseaux lymphatiques, même sur un très-long trajet, remplis de la masse qui forme la tumeur. Cela se rencontre non-seulement dans le cancer et le cancroïde, mais aussi dans d'autres tumeurs, dans l'enchondrome, par exemple. La tumeur envoie, de cette façon, dans l'intérieur des vaisseaux lymphatiques, des ramifications semblables aux branches d'un arbre, qui peuvent finir

Digitized by Google

par faire éclater la paroi des vaisseaux lymphatiques, traversent les tissus ambiants et apparaissent au jour libre. Un des cas les plus remarquables de ce genre que j'ai observé est ce-

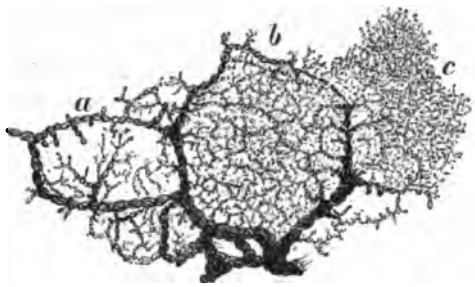


FIG. 285. — Cancer des vaisseaux lymphatiques à la surface des poumons. *a* Un lobule pulmonaire avec infiltration complète du grand vaisseau périphérique, les réseaux contraux plus fins commencent à se remplir. *b* Un plus grand lobule pulmonaire, où tout le réseau lymphatique est presque entièrement rempli (farci). *c* Farcissement complet et élargissement croissant du réseau. Grandeur naturelle.

lui d'un cancroïde pultacé de l'utérus, où les vaisseaux lymphatiques du péritoine et ceux qui des poumons se rendaient aux glandes bronchiques également altérées étaient remplis sur une grande étendue par des masses cylindriques cancroïdes; il s'y trouvait, dans la cavité péritonéale et dans les bronches, des masses vermiformes libres sorties de ces vaisseaux et formées entièrement de cellules de la tumeur. Il y a donc deux possibilités d'extension d'éléments cellulaires par les vaisseaux lymphatiques : l'une d'après laquelle, de l'extrémité des ramifications de la tumeur pénétrant dans les canaux lymphatiques, il se détacherait des cellules qui seraient entraînées par le courant de la lymphe; l'autre d'après laquelle les ramifications de la tumeur se frayeraient une voie à travers les parois qui les renferment et se trouveraient ainsi libres dans les cavités ou les canaux du corps. Mais il m'est impossible de dire positivement laquelle de ces voies les métastases suivent régulièrement dans leur mode de production; dans la plupart des cas, les vaisseaux lymphatiques qui, de la tumeur se rendent aux glandes lymphatiques, sont libres et simplement remplis de liquide.

Il n'est pas rare de trouver aussi, comme je l'ai déjà dit, des masses très-friables de tumeurs qui ont pénétré à travers les parois des veines et dont il peut très-facilement se détacher des parties. Quelques observateurs ont prétendu avoir vu de ces cellules dans le sang lui-même. Je ne veux pas nier absolument ce fait, car il est toujours très-périlleux de nier catégoriquement ce que quelqu'un dit avoir positivement vu. Il y a cependant de nombreuses sources d'erreur : ainsi il arrive que l'on trouve dans le sang de grands éléments cellulaires; ce ne sont pas nécessairement des éléments de la tumeur. Dans les cadavres, il se détache de la surface interne des vaisseaux des cellules épithéliales qui se mêlent au sang. La rate fournit probablement aussi de grands éléments que l'on peut prendre pour des cellules de tumeur. Il faut, en pareille matière, être très-prudent. Mais j'ai vu moi-même des cas indubitables où des fragments entiers de tumeur, d'une grandeur déjà reconnaissable à l'œil nu, s'étaient détachés de cancers des veines et étaient arrivés dans l'artère pulmonaire ; on a aussi observé, dans la lymphe du canal thoracique, des éléments qui présentaient du moins la plus grande analogie avec ceux du cancer.

Ces considérations rendent, en tout cas, très-vraisemblable la possibilité du transport, dans certaines circonstances, de particules morphologiques. Il est même un cas où une propagation de ce genre est beaucoup plus probable que celle qui ne se ferait que par les sucs seuls; c'est la propagation telle qu'on l'observe, en particulier, dans les grandes cavités séreuses où la maladie part d'un organe déterminé. Quan il existe, par exemple, primitivement un cancer de l'estomac, qui s'étend jusqu'à la séreuse, il n'est pas rare de voir le péritoine devenir le siége d'une éruption cancéreuse multiple, mais non uniforme; au contraire, en des points souvent très-éloignés et précisément disposés de façon à être contaminés par les substances qui glissent le long de la surface péritonéale de la paroi abdominale, par exemple dans les environs des ligaments latéraux de la vessie, dans l'excavation recto-vésicale, recto-utérine ou utéro-vésicale. Dans ces points se forment de nouveaux petits îlots de tumeurs, *une seconde génération de nodosités*, absolument comme si l'on eût répandu une semence qui aurait germé çà et là où elle serait tombée. Je ne puis mieux comparer cette apparence qu'à l'arbre ou au buisson que l'on rencontre quelquefois sur le versant d'une montagne et pour lesquels il faut admettre qu'ils y ont certainement semés, que probablement des graines, en tombant du haut de la montagne, arrêtées par quelque point saillant, s'y sont fixées et y ont pris racine.

Ce ne sont point là des preuves absolues : aussi me déterminent-elles à ne porter qu'un jugement très-réservé sur le mode de propagation, de telle sorte que je ne conteste pas la *possibilité* du détachement des particules de tissus qui, entraînées, deviendraient le germe de la maladie dans un nouveau point. Mais je tiens pour invraisemblable que la propagation par transport à distance de parcelles de tissu soit la règle. *Précisément dans les cas les plus exquis de cancer des veines ou des vaisseaux lymphatiques, on ne trouve souvent aucun noyau métastatique, ou bien ces noyaux ne sont que très-peu nombreux et petits*, tandis qu'au contraire la dégénérescence du côté des veines ou des lymphatiques manque totalement dans les cas de lésions métastatiques des plus multipliées. Il fallait, d'après cela, se bien garder de tirer des règles générales de quelques cas isolés. Il est probable que les deux modes de contagion existent, mais je n'en tiens pas moins la contagion purement humorale pour la plus importante. Comme les éléments cellulaires dans l'intimité de la tumeur doivent être regardés comme les éléments qui produisent les sucs nuisibles, ils pourront aussi être porteurs de ces sucs dans les points éloignés. On peut établir avec certitude par l'observation que ces cellules, répandues en quelque sorte comme des semences, ne donnent pas *par elles-mêmes* naissance aux nouvelles tumeurs; que les nouvelles nodosités ne se développent pas par une sorte de germination des cellules déplacées, mais que *les tissus préexistants subissent, en leur lieu et place, l'atteinte morbide*, et que, procédant d'eux et uniquement par un travail local de prolifération, les soi-disant métastases, les nodosités secondaires se produisent. Il s'agit ainsi toujours d'une *infection* qui s'exerce par la partie détachée de la tumeur sur le tissu local, et la *dissémination* elle-même, par les éléments de la tumeur, nous conduit nécessairement à regarder ces éléments comme les agents de transport et les organes générateurs d'un principe infectant, qui, de son côté, n'est pas nécessairement lié aux éléments cellulaires.

Traduit sur le texte allemand de R. VIRCHOW,
par ARRONNSSON, agrégé de la Faculté de médecine de Strasbourg.

Digitized by Google

MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE.

PHYSIOLOGIE COMPARÉE.

COURS DE M. VULPIAN (1).

Des aliments en général.

L'histoire des phénomènes de la digestion exige pour être complète l'étude successive de plusieurs questions. La première qui se présente à nous est celle qui est relative aux aliments.

Les pertes que subit l'organisme des animaux sont nécessairement complexes et en rapport avec la constitution également complexe de la matière organisée. On retrouve, en effet, d'une manière presque constante, car les variations sont très-minimes, dans toute la série animale des matières inorganiques telles que l'eau, des sels et des matières organiques cristallisables comme l'urée, la taurine, le sucre, etc., et des matières organiques non cristallisables, d'une composition très-instable, et appartenant au groupe des substances quaternaires comme l'albumine et la fibrine. Ce dernier groupe ne peut être encore obtenu par des moyens artificiels, tandis que la chimie a pu produire de toutes pièces plusieurs des matières qui appartiennent au premier, et vous savez que c'est Wöhler qui, le premier, a fabriqué de l'urée. Ces substances ne doivent pas d'ailleurs, au sens physiologique du mot, être comptées au nombre des principes constituants de la substance organisée ; ce sont des produits de désassimilation ou de combustion respiratoire ; leur existence au sein des tissus ou des humeurs n'est pas théoriquement nécessaire à la constitution des uns ou des autres. Quant aux vrais principes immédiats de la substance organisée, la chimie n'est pas encore parvenue à les produire artificiellement, elle n'a même pas réussi jusqu'à présent à acquérir des notions nettes sur leur état moléculaire et sur leur composition. Ainsi on n'est jamais parvenu à fabriquer de la fibrine.

Tous ces éléments sont attaqués par la combustion respiratoire. On trouve, en effet, dans les excrétions provenant de la combustion des substances non azotées : de l'eau, de l'acide carbonique, des acides lactique et butyrique. Dans les excrétions qui résultent de la combustion des substances azotées on trouve : de l'urée, de l'acide urique, de l'acide hippurique, les acides gras de la bile, acides cholique et choléique ; de la créatine, de la créatinine, de l'hypoxanthine, de l'acide sudorique, etc. De plus, une quantité plus ou moins grande de matières inorganiques entraînées avec l'eau par diverses sécrétions.

Je vous démontre par ce simple énoncé la nécessité d'introduire dans l'organisme, pour réparer ces pertes, des matières ternaires non azotées, des matières azotées, de l'eau et des sels divers. En somme, c'est à ces matériaux que se réduisent tous les aliments, et dans l'alimentation nous trouvons des matières ternaires, telles que le sucre ; la graisse, des matières azotées telles que la chair musculaire, et des principes inorganiques tels que l'eau, les chlorures, les phosphates de chaux, etc.

Nous avons supposé tout à l'heure que la substance organisée se trouve attaquée et progressivement détruite par la combustion respiratoire. Mais cette hypothèse est-elle exacte ? Les tissus sont composés d'éléments anatomiques ayant chacun une constitution spéciale. Sont-ce ces éléments qui sont attaqués dans leurs molécules constituantes ? Ou bien sont-ce des substances passagères qui, venues du dehors, pénètrent jusqu'au fond de l'économie pour y être brûlées sans avoir pris une part effective à la vie des éléments anatomiques, et ces substances forment-elles de simples matériaux de combustion ? En un mot, sont-ce les éléments anatomiques eux-mêmes qui, par suite de leur usure incessante, ont besoin d'une réparation incessante ? Ou bien n'y a-t-il qu'un simple foyer de combustion qu'il faut alimenter par un apport continuel de matières combustibles ?

Il est bon d'ajouter que l'on peut se former sur la nature des phénomènes de nutrition intime une opinion mixte, et qu'on peut par conséquent admettre qu'il y a en même temps introductions de matières alimentaires, d'une part pour fournir à la réparation des éléments anatomiques ou même à la mutation intégrale de ces éléments et, d'autre part, pour conduire au fond des tissus, dans le foyer de combustion, les matériaux nécessaires à l'entretien de cette combustion.

C'est cette opinion mixte qu'ont adoptée la plupart des physiologistes, depuis qu'elle a été émise et développée par M. Dumas et M. Liebig. D'après cette opinion, il y aurait donc deux classes d'aliments, les uns servant à la réparation et à la formation des éléments anatomiques ; les autres seraient destinés à la combustion respiratoire.

La première classe comprendrait les aliments azotés, lesquels seraient désignés sous le nom d'*aliments plastiques ;* la seconde réunirait les aliments organiques non azotés sous le nom d'*aliments respiratoires*. Dans le premier groupe se trouveraient toutes les matières protéiques ou albuminoïdes, la fibrine, l'albumine, la caséine, la musculine, le gluten, etc.; dans le second on rangerait les substances féculentes, la saccharose, la glycose, les graisses, etc.

C'est là, encore aujourd'hui, l'opinion classique ; et cependant dans les termes absolus qui servent à l'exprimer, elle est évidemment inexacte. En effet, pour qu'elle pût être acceptée il faudrait qu'elle fût nettement tranchée ; que les aliments dits respiratoires ne fussent pas en même temps plastiques, et que les aliments plastiques réciproquement ne fussent pas respiratoires.

Or, des substances non azotées comme l'amidon, la fécule, qui ont reçu des physiologistes le nom de substance adipogènes, peuvent se transformer en graisse. Si l'on fait agir l'action d'un ferment sur l'amidon, il se transforme en dextrine, puis en sucre. Si l'action du ferment continue, le sucre se transforme en acide lactique, puis en acide oxalique et en acide butyrique. Donc ces aliments peuvent aboutir à une substance grasse, et en discutant sur les graisses, nos arguments s'adressent à toute une classe d'aliments. Or les graisses, quelles qu'elles soient, sont évidemment au nombre des éléments constituants essentiels de certains éléments, ceux du cerveau, de la moelle des fibres nerveuses, des fibres musculaires, du sang lui-même et, en général, de toute substance organisée dans laquelle la vie est tant soit peu active. Donc la graisse n'est pas seulement dans le corps des animaux une réserve alimentaire. On constate, du reste, sa présence dans certaines parties chez des animaux qui ont succombé à l'inanition. Chez ces animaux on retrouve encore de la graisse

(1) Voy. les nos 32 et 33, et dans les 1re et 2e années un cours *in extenso* (37 leçons) de M. Vulpian *sur la physiologie du système nerveux*).

Digitized by Google

dans le tissu cellulaire sous-cutané des joues, dans l'orbite, etc. Ainsi, la graisse fait partie essentielle d'un grand nombre d'éléments anatomiques qui ne pourraient pas fonctionner s'ils en étaient dépourvus. Si ces substances grasses sont peu à peu éliminées, il faut qu'elles soient remplacées au fur et à mesure, et cette substitution est certainement ici de l'ordre des phénomènes plastiques. Donc les substances grasses peuvent être, en se plaçant à ce point de vue, rangées parmi les aliments plastiques.

D'autre part, les aliments réputés plastiques sont aussi des aliments combustibles, car sans cela les animaux n'expulseraient ni urée, ni acide urique, ni acides cholique, choléique, etc. Et n'a-t-on pas vu des animaux, nourris avec de la chair soigneusement dépouillée de graisse, maintenir leur température au degré normal?

Ainsi cette division commode pour l'exposition des faits, devrait être abandonnée déjà pour cette raison d'inexactitude scientifique.

Mais de plus ne donne-t-elle pas aussi une idée fausse des phénomènes de la respiration et de la nutrition intime. Il semblerait que la respiration est une fonction qui a pour but de brûler dans le sein de l'organisme des matériaux combustibles afin de produire de la chaleur. On pourrait croire que cette production de chaleur est la fin, le but de la respiration, de l'introduction des gaz de l'atmosphère dans les tissus animaux! Que de physiologistes professent cette doctrine que je regarde comme erronée!

Ces morcellements des fonctions sont tout à fait artificiels. Il n'y a pas de fonction de calorification; il n'y a pas de fonction de combustion, si on l'entend comme médiatrice de la calorification. Nous voyons une substance organisée qui ne peut vivre, manifester son activité qu'à la condition d'une certaine composition instable lui permettant un travail chimique presque continuel. Ce travail chimique est sans doute la source exclusive de tous les phénomènes de la vie effective, quels qu'ils soient. Ce sont les transformations de forces dont il est le point de départ qui constituent toutes les manifestations vitales observés chez les êtres vivants, et ce travail chimique ne peut avoir lieu qu'au moyen d'une incessante action de l'oxygène sur la substance organisée, comme je l'ai indiqué dans ma première leçon.

C'est ce travail chimique intime qui est le grand fait fondamental, et ce travail, dans ce qu'il a de plus simple, peut être en somme considéré comme une combustion. Il y a d'autres sources de chaleur, telles que les combinaisons chimiques, les condensations, et des phénomènes chimiques comme l'humectation, etc.

Les éléments de la matière organisée se combinent avec l'oxygène, perdent leur constitution, se désassimilent et doivent être entraînés ou revivifiés. C'est pour cela qu'il faut une réparation; car il faut que la composition organique reste constante.

Ce qu'il faut bien comprendre, c'est que cette assimilation n'a pas lieu parce qu'il fallait une combustion, mais parce qu'il fallait un travail chimique intime; et ce travail s'est trouvé être une combustion. Cette combustion s'accompagne forcément de production de chaleur, mais ce n'est pas là une fin physiologique, et ce serait avoir une fausse idée de la respiration que de la représenter comme ayant pour but la calorification.

Je sais bien que cette calorification paraît nécessaire à la vie des animaux supérieurs; mais cette simple circonstance qu'elle n'a lieu que chez eux avec l'intensité nécessaire pour entretenir une chaleur constante, montre qu'il ne s'agit pas ici d'un fait fondamental primordial comme on se le représente.

En un mot, les aliments respiratoires sont des matériaux pour les actions chimiques qui ont lieu dans la substance organisée, et non pas directement pour la calorification qui n'est qu'un résultat connexe.

Ces actions chimiques se produisent sans doute non pas dans le sang lui-même, aux dépens des matériaux de ce fluide nourricier, mais en dehors des vaisseaux, dans les éléments anatomiques baignés plus ou moins médiatement par le sang. C'est, du reste, ce qu'admettent la plupart des physiologistes. Sans cela, pourquoi les phénomènes qui se passent dans le sang artériel retenu dans les grosses artères ne seraient-ils pas les mêmes que ceux qui ont lieu dans les capillaires? Pourquoi le phénomène de désoxygénation ne s'accomplit-il pas dans les veines pulmonaires, dans l'aorte, comme il s'accomplit dans les vaisseaux périphériques? Est-ce seulement parce que dans les capillaires le sang est plus rapproché des parties vivantes? Mais s'il ne se passe là qu'un simple phénomène de combustion, comme on le dit, pourquoi cette différence?

Mais revenons à la division classique des aliments. Il est clair que cette division n'est fondée que d'une façon relative. Mais ce serait aller trop loin que de la rejeter complétement, car nous ignorons si certaines matières ternaires introduites dans l'organisme ne sont pas utilisées immédiatement pour les actions chimiques qui se passent dans le sein de tous les tissus, et ne méritent pas, sous les réserves que nous avons faites, le nom d'aliments respiratoires.

Un fait capital à signaler au début de notre étude des aliments, c'est que les aliments tirés du règne animal et ceux qui sont tirés du règne végétal ont, en somme, la même constitution. C'est aux travaux de Mulder que nous devons surtout la connaissance de cette remarquable analogie. Il y a bien des animaux herbivores qui normalement prennent leur nourriture dans le règne végétal et des carnivores qui mangent des matières animales, mais ils ingèrent en définitive à peu près les mêmes substances sous une forme variée; la différence ne consiste que dans les proportions dans lesquelles ces substances sont associées.

Ce fait est amplement démontré par les changements de régime que l'on peut faire subir aux divers animaux. Ainsi on a nourri des chevaux, des vaches, des brebis, des pigeons, exclusivement avec de la viande; les éleveurs des environs de Paris donnent à leurs poules des viandes provenant de l'équarissage. Un ours, dont M. Flourens rapporte l'histoire, fut nourri exclusivement avec de la chair, puis exclusivement avec du pain. Il s'accoutuma si bien à ce dernier régime, que lorsqu'on voulut lui donner de la chair il la refusa. Un pigeon, soumis par Spallanzani à cette expérimentation, ne voulut plus que de la chair après y avoir été habitué pendant quelque temps. On a pu également nourrir des vautours, des aigles, des milans, avec des végétaux, et nombre de chiens sont nourris avec du pain.

Du reste, on pourrait peut-être pousser plus loin cette assimilation des matériaux nutritifs; car, sauf l'eau chargée de principes minéraux, tous les aliments proviennent du règne

Digitized by Google

végétal. Ce sont les végétaux qui organisent la matière inorganique, grâce aux emprunts qu'ils font aux éléments de l'air, et qui restituent l'organisation à des matières désorganisées.

Seules les substances tirées du règne organique peuvent servir à l'alimentation, et les exemples que l'on a cités pour faire croire à une alimentation tirée du monde inorganique ne sauraient être admis. Le lombric terrestre, a-t-on dit, est géophage; il n'en est rien. Le lombric remplit son canal digestif de terre, mais c'est pour lui emprunter toutes les matières organiques qu'elle contient, puis il rend cette terre. Il en est de même de certains Oursins. Lorsqu'on ouvre leur canal digestif, on le trouve rempli de sable, à tel point qu'il semblerait qu'on l'en a bourré à plaisir. C'est comme le ver de terre, pour dépouiller le sable des matériaux nutritifs qu'il contient, que l'Oursin l'ingère, puis il le restitue.

On a fait grand bruit aussi de certaines peuplades du nouveau monde qui se nourrissent d'une terre comestible dont je vous présente des échantillons, c'est ce que l'on a nommé de la *stéatite alimentaire*. Voici un argile rougeâtre dont on fait des pastilles et des gâteaux dans les Indes orientales. Ces terres sont totalement dépourvues de propriétés nutritives. Les peuples qui les mangent le font par une bizarrerie de goût qui ne pourrait s'expliquer que par les qualités faiblement aromatiques que possèdent ces substances.

J'en ai fini de ces considérations générales que je voulais vous présenter sur les aliments, et je me résume en quelques mots.

Les seules substances que l'alimentation emprunte au règne inorganique sont l'eau, des sels (chlorures et phosphates, par exemple). On pourrait cependant y joindre l'oxygène, car ce gaz n'est pas seulement un élément destructeur, il peut être considéré comme un élément de construction, à cause des mutations qu'il permet entre les aliments. Il favorise par sa présence des transformations chimiques, et concourt à la formation de la musculine, de la gélatine, de la caséine, etc.

Les matières organiques que l'animal ingère pour sa nourriture sont divisées en trois groupes : 1° matières albuminoïdes; 2° matières grasses; 3° matières féculentes et sucrées.

Les premières seules contiennent de l'azote; elles représentent des composés quaternaires, et sont constituées par du carbone, de l'hydrogène, de l'azote et de l'oxygène. On leur a donné le nom de matières albuminoïdes parce que la combinaison chimique de ces substances se rapproche sensiblement de celle de l'albumine, et je vous rappelle que ce n'est pas seulement dans la chair des animaux qu'on les rencontre, et que dans les aliments on trouve de la fibrine végétale, de l'albumine végétale. Dans les deux derniers groupes, on ne rouve pas d'azote, et seulement du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène. Ces substances ternaires vous sont connues, et je ne crois pas devoir vous en faire l'énumération.

Telle est la source de la matière organisée; c'est cette matière qui pénètre dans la substance organique, s'y incorpore, s'y assimile, et prend part aux manifestations de l'activité vitale; c'est de la substance musculaire, de la substance médullaire, de la substance cérébrale; c'est, en d'autres termes, du mouvement, de la sensibilité, de l'innervation cérébrale, que les animaux introduisent ainsi dans leur corps.

E. Bremond.

BIBLIOGRAPHIE.

De la théorie dynamique de la chaleur dans les sciences biologiques, par le docteur Ernest Onimus.

Lorsqu'une branche quelconque des sciences fait un grand progrès, lorsqu'une idée nouvelle, un nouveau principe bien fécond vient éclairer des mystères jusqu'alors impénétrables, la science tout entière en profite. Jamais peut-être cette vérité n'a été mieux démontrée que par les nombreuses conséquences de la théorie mécanique de la chaleur. La chimie nous avait appris l'indestructibilité de la matière; il était réservé à la physique de nous apprendre que la force, elle aussi, est indestructible. C'est à un médecin allemand, à Mayer, que revient l'honneur d'avoir le premier indiqué une preuve expérimentale de la transformation de la chaleur en travail et d'avoir ainsi justifié l'adage bien connu de Lucrèce : *Nihil ex nihilo, nihil in nihilum posse reverti.*

Une quantité déterminée de travail peut toujours être transformée en une quantité équivalente de chaleur et le rapport de la quantité de travail à la quantité de chaleur équivalente est ce que l'on appelle l'équivalent mécanique de la chaleur. La chaleur ne se détruit ni ne se crée; la chaleur est un mode de mouvement et comme tel peut se transformer en un mouvement différent ou en provenir. Nous savons que la lumière consiste aussi en un mouvement et tout nous porte à croire que l'électricité est encore un autre mode de mouvement. L'idée de fluides impondérables et distincts a disparu; il n'y a en réalité dans les phénomènes optiques, calorifiques et électriques, que des mouvements divers pouvant se transformer les uns dans les autres.

Ces principes reconnus et vérifiés pour les substances inorganiques dominent-ils aussi les phénomènes de la nature vivante? La chimie a déjà répondu affirmativement pour ce qui concerne les combinaisons et les décompositions chimiques. La physique vient à son tour offrir aux physiologistes des preuves de la corrélation des forces dans la nature vivante. Mais ici les dificultés sont plus grandes. Aux difficultés inhérentes aux expériences vient s'ajouter le mauvais vouloir d'un certain nombre de physiologistes, partisans quand même de la force vitale. Aussi faut-il savoir gré à M. Onimus d'avoir entrepris l'application des principes de la théorie dynamique de la chaleur aux sciences biologiques.

Le travail de M. Onimus se divise en deux parties. Dans la première il expose d'une manière claire et succincte les principes fondamentaux de la théorie dynamique de la chaleur et les applique à l'explication des phénomènes calorifiques qui accompagnent les réactions chimiques. Examinant ensuite les résultats des expériences de MM. Favre et Silbermann relatives aux chaleurs de combinaison, il en tire des conséquences importantes et neuves sur la manière dont il faut envisager les lois de Berthollet. Passant enfin à la physiologie des plantes, il résume tout ce qui a été dit de l'influence du soleil sur la végétation et met en évidence ce fait, que la chaleur et la lumière n'exercent pas simplement une action stimulante et excitatrice sur les plantes, mais qu'une partie de la puissance solaire est *absorbée*, *convertie* en un autre mode de la force.

Dans la seconde partie, l'auteur applique les principes précédents à l'étude d'un grand nombre de phénomènes physio-

Digitized by Google

logiques. Il se demande tout d'abord si l'équivalence de la chaleur et du travail se vérifie dans le corps de l'animal. Des expériences directes le prouvent. M. Béclard, M. Hirn, M. Matteucci, et plus récemment M. Heidenheim, ont prouvé non-seulement que la transformation de la chaleur a lieu dans le corps humain, mais que le corps humain est la machine la plus parfaite pour transformer la chaleur en travail. M. Onimus a fait une expérience facile à répéter, et qui prouve d'une manière évidente la relation qui existe entre la chaleur du corps humain et le travail accompli. La fréquence du pouls, toutes choses égales d'ailleurs, est proportionnelle à la température du corps; donc si la chaleur totale diminue dans le cas de travail externe produit, il doit en être de même de la fréquence du pouls. C'est, en effet, ce qui arrive; M. Onimus a constaté que les battements du cœur sont moins fréquents lorsqu'on soulève un poids que lorsqu'on fait le même mouvement et les mêmes contractions sans soulever de poids.

Ainsi dans le corps humain, comme dans une machine à vapeur, à toute quantité de travail produit correspond une quantité équivalente de chaleur disparue. Ce principe est fécond en conséquences; il suffit pour s'en convaincre de jeter les yeux sur les nombreuses questions que M. Onimus a expliquées en s'appuyant sur ce principe. Après avoir étudié les mouvements musculaires qui offrent la vérification la plus directe de la théorie dynamique, il applique cette théorie à la circulation et réfute une partie des conséquences de la théorie des nerfs vaso-moteurs. D'après cette théorie, le froid détermine la contraction des fibres musculaires qui se trouvent dans les parois des vaisseaux sanguins; la chaleur paralyserait ces mêmes fibres. M. Onimus, au contraire, prétend et prouve par des expériences, que la chaleur est indispensable à la contraction et que le froid empêche les contractions et paralyse les muscles. Non-seulement la chaleur ne paralyse pas les muscles des parois des vaisseaux sanguins, mais elle active même la circulation parce qu'elle est en partie transformée en mouvement. Réciproquement tout arrêt de mouvement produira de la chaleur.

On a cherché à expliquer la rougeur, la tuméfaction et l'élévation de température qui caractérisent l'inflammation, par une plus grande activité dans la circulation du sang, résultant de la paralysie des nerfs vaso-moteurs. M. Onimus combat cette opinion et attribue ces phénomènes qui accompagnent l'inflammation à d'autres causes, dont une des principales serait la présence d'un obstacle entravant la circulation c'est-à-dire le mouvement et produisant ainsi un développement de chaleur.

La partie la plus délicate du travail de M. Onimus est, sans contredit, le chapitre qu'il consacre au système nerveux. Toute action nerveuse, toute transmission d'impression et de sensation a lieu au moyen d'un mouvement vibratoire des nerfs. Le « *nihil ex nihilo* » vrai pour le mouvement calorifique est vrai aussi pour le mouvement vibratoire des nerfs. On comprend donc qu'il est possible d'appliquer ici encore les conséquences de la théorie mécanique de la chaleur. D'ailleurs la chaleur exerce une action directe sur le système nerveux; elle favorise l'excitation et la propagation de l'action nerveuse.

Ainsi, partout où il y a mouvement, la chaleur intervient et favorise ce mouvement. Ce qui est vrai pour le mouvement musculaire, pour la circulation et pour le mouvement vibratoire des nerfs est vrai aussi pour les éléments anatomiques. Dans le dernier chapitre de son ouvrage, M. Onimus met en évidence l'influence de la chaleur sur les mouvements des éléments anatomiques, et fait, entre l'action thérapeutique des acides et des bases et celle de la chaleur, des rapprochements qui méritent d'attirer l'attention des physiologistes.

On voit, par l'analyse incomplète que nous venons de donner de son ouvrage, que M. Onimus a entrepris un travail vaste et difficile. Jusqu'ici il s'est presque exclusivement borné à des considérations théoriques basées sur les résultats d'expériences faites souvent dans un but moins général. Espérons qu'il ne s'arrêtera pas là, et qu'il exploitera lui-même ce vaste champ d'expériences intéressantes au point de vue physiologique et au point de vue philosophique. Nous recommandons son travail à tous les jeunes médecins désireux de se rendre compte de l'importance des théories de la physique moderne et des services qu'elles peuvent rendre aux sciences biologiques.

FELTZ.

VARIÉTÉS.

CURIOSITÉ ZOOLOGIQUE. — On lit dans le *Hamburguer Nachrichten* (Nouvelles hambourgeoises), journal de Hambourg :

« Le curieux Antilope de notre jardin zoologique vient de recevoir des savants le nom d'*Antilope unctuosa*, ou Antilope gras, parce qu'on a remarqué que durant l'hiver son poil possède la singulière propriété de sécréter une humeur épaisse, d'une odeur éminemment désagréable en telle abondance que le liquide tombe en gouttelettes sur le sol. Cet Antilope est à peu près amphibie. Une de ses variétés est même nommée Antilope des eaux, parce qu'elle n'abandonne jamais le bord des fleuves et des lacs, se nourrit de plantes aquatiques, et à l'approche du plus petit danger cherche un refuge dans les ondes. Pour un tel genre de vie, cette peau, abondamment recouverte de matières grasses, convient on ne peut mieux; par suite, la sécrétion de graisse est chose fort naturelle, quelque singulier que soit le fait par rapport à ce que l'on remarque d'ordinaire chez les autres membres de cette famille. »

L'EMBONPOINT CHEZ LES AFRICAINES. — Chez les musulmans l'embonpoint est considéré comme indispensable à la beauté, et les jeunes filles les plus jolies trouveraient difficilement un mari si elles étaient maigres. Aussi, lorsqu'une jeune Algérienne est sur le point de se marier, il est d'usage de l'engraisser pendant les quarante jours qui précèdent son mariage. Alors on l'empêche de sortir, on la tient dans une chambre obscure et fraîche, on lui donne beaucoup à boire et on la fait dormir le plus possible; à minuit, sa mère la fait lever pour l'obliger à manger du couscoussou et des boulettes faites avec des graines de plantes oléagineuses, à peu près semblables à celles qu'on donne aux oies en Europe. Si son fiancé la trouve encore trop maigre au bout de quarante jours, les parents continuent le même régime pendant quinze nouveaux jours, au risque même de la faire mourir.

Les femmes portent aux jambes et aux bras de gros anneaux d'or ou d'argent; si la fiancée est destinée à épouser un homme veuf, alors on lui passe les anneaux qui ont appartenu à la première femme et on la nourrit de manière à lui faire acquérir l'embonpoint nécessaire pour remplir la capacité des bracelets.

On assure que certaines Algériennes, pour obtenir cet embonpoint indispensable, vont jusqu'à manger de jeunes chiens, car la chair de ces animaux est réputée infaillible pour engraisser; d'autres, au contraire, se bornent à dormir vingt-trois heures sur vingt-quatre et parviennent ainsi à triompher de la nature la plus rebelle. (*Moniteur universel.*)

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE NUMÉRO 38 18 AOUT 1866

ACADÉMIE DES SCIENCES.

M. FAYE,
(de l'Institut).

Les étoiles nouvelles et les étoiles variables.

L'apparition d'une étoile nouvelle est un phénomène assez rare, frappant, non encore expliqué; j'ai pensé que l'Académie n'accueillerait pas sans intérêt quelques remarques sur ce sujet, à propos de celle qui nous a été signalée en France par M. Courbebaisse. Il ne s'agit pas ici de conjectures : je me propose seulement de rapprocher ces phénomènes de ceux des étoiles périodiques et de les rattacher tous à l'explication que j'ai donnée de la formation et de l'entretien de la photosphère d'un soleil quelconque.

On sait que l'étoile devenue subitement si brillante au mois de mai dernier n'est pas nouvelle dans la stricte acception de ce mot : c'est une étoile ancienne de 9e grandeur, jusque-là invisible à l'œil nu, le n° 2763 du grand Catalogue d'Argelander, qui a présenté un phénomène subit d'exaltation d'éclat. Nos renseignements actuels sur cette remarquable apparition nous permettent d'affirmer que cette étoile a atteint son maximum presque subitement dans la nuit du 12 mai, époque à laquelle elle a été vue pour la première fois par M. Birmingham en Irlande; qu'à partir de cette époque son éclat a décru, mais comparativement avec lenteur, à raison d'une demi-grandeur par jour, jusqu'au 20 mai, et bien plus lentement encore jusqu'à la fin de juin, époque à laquelle l'étoile est revenue à peu près à son ancien éclat, et n'a plus montré de variations appréciables.

En rapprochant ce phénomène de ce que nous savons sur les étoiles nouvelles antérieurement apparues, on est conduit à penser que tous ces faits sont du même ordre; qu'il ne s'agit pas, comme on l'a cru longtemps, d'astres nouvellement formés, mais d'étoiles qui, après être restées longtemps invisibles à l'œil nu, viennent de subir quelque cataclysme.

Ce dernier mot lui-même n'est pas tout à fait exact; au fond, le phénomène des étoiles nouvelles n'est que l'exagération bien altérée du phénomène si commun des étoiles périodiques, car, jusque dans cette exagération accidentelle, on retrouve des détails propres à ces dernières.

A la vérité, cette thèse rencontre tout d'abord une difficulté dans les idées qu'on s'est faites sur ces deux classes de phénomènes : bien loin d'en chercher le lien, on a jusqu'ici persisté à les séparer radicalement, à les rattacher à des causes toutes différentes. Examinons donc un instant comment ces idées se sont formées et ce qu'elles valent.

La première étoile périodique qu'on ait connue est *omicron* de la Baleine (*Mira Ceti*); elle a été signalée par Fabricius, un des auteurs de la découverte des taches du Soleil. C'est Bouillaud qui, le premier, essaya d'expliquer ce phénomène alors unique, et d'autant plus frappant qu'il restait encore quelque chose dans tous les esprits de l'antique croyance à l'incorruptibilité des cieux. Comment concilier cette prétendue incorruptibilité avec les variations périodiques si régulières de *Mira Ceti?* Bouillaud imagina que l'étoile pourrait bien avoir une face obscure et une face brillante, et qu'en tournant sur elle-même, comme le Soleil, elle nous montrait alternativement ces deux faces avec la régularité qui est le propre des mouvements de rotation dans le ciel. Il suffisait d'assigner une durée de trois cent trente et un jours à cette rotation pour expliquer, et les variations d'éclat de *Mira*, et la constance de sa période. Rien ne s'opposait donc à ce que les choses durassent ainsi éternellement.

Cette conjecture séparait radicalement, comme je l'ai dit plus haut, les étoiles variables des étoiles nouvelles telles que celles d'Hipparque, de Tycho et Kepler. Celles-ci s'étaient allumées tout à coup, avaient brillé quelque temps du plus vif éclat et, finalement, s'étaient éteintes. Ici, évidemment, une rotation n'expliquerait plus rien; aussi personne n'y a-t-il songé. Tycho et Kepler conjecturaient que ces astres venaient de se former subitement aux dépens d'une matière cosmique, précédemment éparpillée dans la voie lactée ou dans le ciel entier. Newton pensait aux comètes qui, en tombant sur un soleil à moitié éteint, viendraient ranimer sa combustion en lui fournissant des aliments nouveaux. Aujourd'hui on présenterait un peu autrement l'idée de Newton; on attribuerait l'explosion subite de lumière et de chaleur, non pas à une combustion, mais à la destruction subite d'une partie de la force vive dont les deux corps étaient animés avant le choc. Mais ici encore nous voilà en présence d'une de ces conjectures ingénieuses que suggèrent si aisément un ou deux faits incomplétement observés.

Aujourd'hui, grâce aux travaux modernes et surtout à l'impulsion donnée à ces études par M. Argelander, ces deux ordres de faits se sont singulièrement multipliés.

Pendant les deux derniers siècles, depuis 1596, époque de la découverte de *Mira Ceti*, jusqu'à 1800, on n'a pas trouvé au ciel plus de douze ou treize variables. A partir de 1846, on en a découvert près de cent en vingt ans seulement. Ainsi leur petit nombre dans les siècles précédents provenait de l'inattention générale; ce nombre augmente chaque année

depuis qu'on les étudie; on est donc porté à croire qu'il y a ici autre chose que des accidents ou des exceptions. Il en a été de même des étoiles nouvelles. On n'en comptait guère plus d'une par siècle dans les temps passés, tandis qu'aujourd'hui, grâce à une étude plus suivie du ciel étoile, nous voilà à la troisième apparition de ce genre depuis 1848.

Les faits aussi sont mieux connus. Ainsi, pour ne parler que de *Mira*, la période est loin d'être aussi régulière que la conjecture de Bouillaud l'exigerait : elle varie de trois cents à trois cent soixante-sept jours. De plus l'étoile n'atteint pas toujours le même éclat à l'époque de ses maxima; elle est quelquefois de 1re grandeur, quelquefois de 2e et même de 3e. Enfin elle est restée une fois quatre ans (du temps d'Hévélius) sans qu'on la vît. On se tirerait d'embarras en disant que la face lumineuse subit sans doute avec le temps des changements; mais ce faux-fuyant renverserait le fond même de la conjecture, car, si l'on admet des variations réelles, la rotation devient inutile.

La rotation n'offrant pas un moyen assez élastique dès la première étoile que l'on étudiait, on eut recours à une conjecture plus souple et plus commode en imaginant autour des étoiles, toujours fixes, toujours inaltérables, comme il convient à des corps célestes, des masses plus ou moins opaques, telles que des satellites, des comètes ou des planètes circulant autour d'elles et venant s'interposer périodiquement entre leur astre central et nous. La conjecture se prête cette fois à tant de combinaisons variées, qu'elle serait capable de fournir des explications pour tous les phénomènes si compliqués qu'ils fussent; mais un fait nouveau est venu, dans ces derniers temps, renverser cet échafaudage : je veux parler de la périodicité du Soleil lui-même. Le Soleil est une étoile variable dont la période est d'environ onze ans et dont les variations, d'ailleurs très-faibles, ne tiennent à aucun des moyens que l'on avait imaginés, mais tout simplement aux particularités de sa constitution physique. Cette belle découverte de M. Schwabe a donné raison aux pressentiments du seul savant d'autrefois qui ait raisonné scientifiquement sur cette matière : je veux parler de Pigott, qui faisait remarquer aux astronomes les taches toutes physiques du Soleil, pour leur montrer que les variations des étoiles périodiques pouvaient tenir à de simples phénomènes physiques et non à une combinaison de mouvements astronomiques.

Les conjectures relatives aux étoiles nouvelles ne tiennent pas davantage devant les faits. Autrefois on ne connaissait que les étoiles visibles à l'œil nu; aujourd'hui que l'on construit d'immenses catalogues de 300 000 étoiles, on a bien des chances de pouvoir désigner la petite étoile invisible dont l'éclat s'est exalté tout à coup pour un temps très-court, et c'est ce qui est arrivé pour la dernière. Ce ne sont donc pas des formations subites. D'autres étoiles nouvelles ont présenté tous les caractères de la périodicité, avant de disparaître pour les faibles instruments des siècles précédents. L'étoile nouvelle d'Anthelme, si bien observée à Paris par D. Cassini, était dans ce cas, et ses variations d'éclat ont duré deux ans. Ce n'est donc pas un corps étranger qui, par son choc, a produit la première apparition de cette étoile, à moins d'admettre que, pendant deux ans, ces chocs se sont répétés à intervalles réguliers. Celle de Jansen, qui apparut en 1600 avec l'éclat d'une étoile de 3e grandeur, et qui disparut en 1621 après avoir subi comme la précédente diverses variations successives, est encore plus remarquable. Elle a été revue par D. Cassini en 1655; elle reparut une troisième fois en 1665 (Hévélius), et maintenant qu'elle est revenue à son faible éclat primitif, elle figure définitivement sur le catalogue des étoiles à faibles variations plus ou moins périodiques que les astronomes étudient de nos jours : c'est l'étoile P du Cygne, d'après la notation d'Argelander.

Lorsqu'on parcourt l'ensemble des travaux modernes qui ont si singulièrement multiplié et précisé nos connaissances sur les étoiles périodiques, on y trouve toutes les variétés imaginables, depuis les étoiles à périodes presque constantes, comme Algol et δ de Céphée, jusqu'aux étoiles les plus irrégulières, comme R de l'Écu de Sobieski; comme le Soleil lui-même, dont la période, d'après M. Wolf de Zurich, varie de huit à quinze ans. De même pour l'éclat : les unes reviennent sensiblement à la même grandeur à chacune de leurs excursions extrêmes; d'autres font comme R du Verseau qui ne dépasse pas ordinairement la 8-9e grandeur et atteint parfois la 6-7e; *Mira Ceti* oscille dans ses maxima entre la 1re et la 3e grandeur, etc. Quant à la durée, on en trouve de trois, de douze, de trois cents jours, de cinq ans, de dix ans, etc. Quant à la marche des variations, tantôt il y a un maximum et un minimum bien réguliers, tantôt deux maxima et deux minima inégaux, comme dans β de la Lyre; tantôt des phénomènes beaucoup plus complexes ou même des irrégularités qui ne paraissent suivre aucune loi.

Au milieu de ces variétés si multiples, il y a quelques caractères communs à presque toutes ces étoiles (1), c'est la rapidité avec laquelle leur éclat augmente et la lenteur avec laquelle cet éclat décroît ensuite, dès qu'il a atteint son maximum; c'est encore la longue durée du minimum ou de l'invisibilité comparée à la courte durée du phénomène de l'exaltation lumineuse. Or ces mêmes caractères se retrouvent dans toutes les étoiles nouvelles depuis 1572.

Ainsi les analogies entre ces deux catégories d'étoiles sont non moins frappantes que les différences; on passe des unes aux autres par des gradations presque insensibles, en sorte que les faits nombreux que nous possédons aujourd'hui nous conduisent à examiner si les étoiles variables et les étoiles nouvelles ne seraient pas autre chose que les états successifs d'un même phénomène dont le ciel nous offrirait à la fois toutes les phases : les étoiles à éclat constant, les étoiles à faibles variations périodiques; les étoiles à périodes irrégulières; celles qui s'éteignent presque dans leur minima; celles qui cessent de varier pendant un temps plus ou moins long, mais qui reprennent de l'éclat et subissent alors des variations considérables pour s'affaiblir de nouveau pendant un long laps de temps; enfin les étoiles presque éteintes qui se rallument convulsivement, présentent des intermittences plus ou moins prolongées, reviennent bientôt à leur faiblesse première ou disparaissent tout à fait. Ne dirait-on pas, je le répète, que ce sont là les phases successives et de plus en plus dégradées de la vie d'une seule et même étoile, phases qui, pour cette étoile unique, embrasseraient des myriades de siècles, mais que le ciel nous offre simultanément quand on considère à la fois tous les astres qui y brillent? de même, dans une ville, le spectacle simultané de tous les individus nous fait embrasser d'un seul coup d'œil la succession de toutes les phases qu'un individu pris à part doit traverser jusqu'à sa mort.

(1) Parmi les très-rares exceptions, il faut citer Algol.

Digitized by Google

Je me suis efforcé d'établir, le lien, l'analogie qui existe entre les étoiles périodiques et les étoiles nouvelles. C'est bien l'analogie que je veux dire, et non l'identité. Il existe, en effet, une différence entre les étoiles à périodes presque constantes et les étoiles à périodes moins régulières; il y en a une autre, plus profonde encore, entre ces dernières et les étoiles nouvelles. J'insiste sur ce point parce qu'on pourrait être tenté de considérer ces phénomènes comme étant susceptibles d'être tous ramenés au type commun d'une périodicité régulière, à l'aide d'une combinaison de plusieurs périodes superposées. Pour les étoiles nouvelles il suffirait d'admettre que la période principale comprend plusieurs siècles. C'est ainsi que l'on a cherché déjà si les dates d'apparitions très-anciennes d'étoiles nouvelles ne présenteraient pas un caractère de périodicité. Je reconnais que dans quelques étoiles variables on trouve des complications qui semblent indiquer la superposition de plusieurs périodes. Dans le Soleil même, M. Wolf, de Zurich, a découvert des variations compatibles avec trois périodes simultanées, l'une de onze ans un tiers, l'autre de cinquante-six et la troisième de cent soixante-cinq ans. Je suis loin de contester la grande valeur de ces recherches dans certains cas particuliers, mais je crois qu'il ne serait pas permis de généraliser, en profitant de la facilité qu'on trouve à tout représenter numériquement par une combinaison plus ou moins compliquée de périodes arbitraires. Remarquez que ce procédé suppose en réalité que les choses sont constituées de manière à durer toujours. Or, si le triomphe de la science moderne est d'avoir prouvé que certains éléments des orbites planétaires de notre monde oscillent nécessairement entre certaines limites, en sorte qu'ils peuvent être représentés d'une manière indéfinie par une certaine combinaison de termes périodiques, il ne faut pas oublier qu'il n'y a là aucune dépense d'énergie mécanique. Il n'en est pas ainsi de la question qui nous occupe : la lumière et la chaleur qu'une étoile rayonne sont irrévocablement perdues pour elle; à mesure qu'elle se refroidit, les forces intérieures qui régissent sa constitution physique, la puissance de son émission superficielle et par suite son éclat, vont en diminuant ; si donc cette étoile vient à présenter des oscillations, des intermittences, ces oscillations ne doivent pas se reproduire indéfiniment, mais s'altérer de plus en plus jusqu'à ce qu'un changement d'état plus radical donne naissance à une nouvelle série de phénomènes tout différents des premiers.

Voici maintenant la suite très-simple des idées qu'il me reste à développer. Les étoiles sont autant de soleils différant sans doute entre eux, au point de vue de la constitution chimique, mais présentant tous, quoique à des phases différentes, les mêmes phénomènes physiques d'incandescence, de refroidissement, de formation et d'entretien d'une photosphère. Or notre Soleil est une étoile périodique; étudions donc comment l'intermittence a pu et a dû s'établir à la longue dans le jeu des forces qui président à sa constitution, et nous serons en droit de conclure du Soleil périodique aux étoiles variables, et de celles-ci aux étoiles temporaires.

Dans un Mémoire des 16 et 23 janvier 1865, jai tenté d'expliquer la formation et l'entretien de la phostophère, en rattachant les faits observés aux notions les plus simples et les plus générales de la science actuelle. Une masse gazeuse portée primitivement à une température supérieure à toutes les affinités chimiques ne peut être incandescente à cause du peu de lumière qu'émettent les gaz ou les vapeurs portés à une haute température. Le refroissement marche donc avec lenteur, mais il doit arriver un momont où la température des couches superficielles tombe au point où les actions chimiques commencent à se produire. Aussitôt apparaissent certaines combinaisons : les unes produisent des gaz ou des vapeurs nouvelles, tout aussi peu lumineuses que les vapeurs élémentaires; les autres donnent lieu à des nuages de particules liquides ou même solides dont l'incandescence sera au contraire très-vive. Ces particules, après avoir abondamment rayonné la chaleur et la lumière, doivent retomber, en vertu de leur densité plus forte, dans les couches inférieures où elles finiront par retrouver une température capable de les réduire de nouveau dans leurs éléments primitifs. Cette décomposition (1) absorbe une grande quantité de chaleur et propage ainsi le refroidissement superficiel jusque dans les couches profondes. Les gaz ainsi reformés dans l'intérieur de la masse rompent l'équilibre des couches et provoquent à leur tour l'ascension d'une nouvelle quantité de vapeurs élémentaires. Celles-ci remontent jusqu'à la surface où elles subissent de nouveau les phénomènes que je viens de décrire.

De cette manière, le refroidissement intérieur ne s'opère pas seulement, comme dans les solides ou les liquides pâteux, par voie de conductibilité d'une couche à l'autre, ce qui rendrait incompréhensibles l'immense durée et l'éclat persistant du Soleil : c'est la masse entière qui coopère à la radiation superficielle par un échange permanent de courants ascendants de vapeurs très-chaudes mais peu brillantes, et de courants descendants dont les particules incandescentes ont dégagé beaucoup de lumière et de chaleur.

Le concours de la masse entière à l'acte de l'émission superficielle est donc assuré, et c'est là la partie la plus importante de cette théorie. En effet ce qu'il y a de plus admirable dans le Soleil, ce n'est pas l'éclat prodigieux de sa lumière actuelle, c'est sa persistance depuis des millions d'années. Si l'on se borne à consulter les souvenirs historiques les plus précis en pareille matière, ceux qui portent sur la distribution géographique des végétaux et surtout sur les limites extrêmes des zones qu'ils habitent, on s'assure aisément que dans un intervalle de deux, trois ou peut-être même quatre mille ans, la radiation solaire n'a pas dû faire varier nos climats de plus de 2 ou 3 degrés. Mais ces périodes-là ne sont presque rien en comparaison de l'immensité de la période géologique qui date de la première apparition de la vie à la surface de la Terre. Or l'échelle thermométrique de la vie ne dépasse pas 60 degrés : c'est donc dans cette étroite limite que la chaleur solaire a dû maintenir celle de la Terre depuis des millions d'années, et l'on parviendrait à fixer par le calcul l'amplitude possible de la variation si l'atmosphère terrestre n'avait dû subir des modifications depuis ces âges reculés. On voit assez, sans que je reprenne mes arguments, qu'une telle durée d'émission abondante serait inexplicable dans toute autre hypothèse, car il est bien certain qu'aucune cause extérieure ne vient réparer cette énorme dépense de chaleur; il est certain que le Soleil doit puiser incessamment dans sa chaleur d'origine comme dans un fonds proportionné à l'énormité de sa masse.

(1) Notons aussi la chaleur beaucoup moindre, mais non négligeable, qui ramène les molécules tombantes à la température de la couche où elles s'arrêtent.

Digitized by Google

Après cette durée qui s'évalue par des millions d'années, il y a la constance, l'uniformité de la radiation que nous pouvons apprécier, comme je le disais plus haut, par des phénomènes terrestres d'une sensibilité extrême. Or il est facile de voir que l'appel des masses intérieures vers la surface n'est déterminé que par la chute des particules incandescentes engendrées dans ce grand laboratoire superficiel de la photosphère. Cet appel est donc sous la dépendance de la radiation elle-même. Le refroidissement superficiel est modéré lui-même par les condensations chimiques auxquelles cet appel donne lieu et par la chaleur qui s'en dégage. Il y a là des éléments de régulation qu'il est impossible de méconnaître et dont le jeu sera d'autant plus efficace que la communication sera plus libre entre l'intérieur de la masse entière et la superficie, c'est-à-dire que l'état gazeux primitif sera moins altéré.

C'est ici le nœud de la question que je vais maintenant aborder, celle du caractère oscillatoire que les phénomènes de la photosphère peuvent revêtir à partir d'une certaine époque.

Dans une sphère gazeuse, il tend à s'établir, d'une couche à l'autre, une distribution de densités et de températures telle, qu'aucun transport vertical de matières ne puisse avoir lieu ; alors en chaque couche la température actuelle répond à la pression correspondante, et se trouve au moins égale à celle où une masse plus chaude, prise à l'intérieur, tomberait spontanément, si elle venait à monter, par le seul fait de la dilatation qu'elle devrait subir dans une région de pression moindre. Or j'ai fait voir que le refroidissement des couches extrêmes donne lieu à des phénomènes de condensation chimique et de précipitation qui détruisent à chaque instant ce genre d'équilibre, à peu près comme le phénomène de la pluie ou de la neige trouble à chaque instant l'équilibre de notre atmosphère dans le sens vertical. Tant que la communication de l'intérieur à l'extérieur reste libre, tant que les courants ascendants et descendants se meuvent avec facilité à travers des couches entièrement gazeuses, l'entretien de la mince couche photosphérique où se produisent les condensations chimiques s'opère avec régularité, et l'éclat peut ainsi rester constant pendant une longue durée. Mais si, par les progrès du refroidissement, l'échange entre les couches internes et la surface se trouve gêné, il arrive un moment où les courants verticaux ne se produisent plus librement suivant chaque verticale pour aboutir à chacun des points de la périphérie ; des couches entières acquièrent peu à peu une densité trop forte, et la rupture de l'équilibre longtemps différée se fait subitement, en amenant, par contre-coup, à la surface, un afflux subit de matières intérieures dont la température est encore énorme (1). De là une recrudescence d'éclat très-rapide, mais passagère. Il faudra évidemment bien plus de temps pour que cet excédant d'éclat s'éteigne, puisque l'extinction doit s'opérer par voie de refroidissement et de radiation à l'extérieur.

Entre ces deux états, celui où les courants ascendants et les courants descendants agissent librement, régulièrement dans toute la masse, et celui où leur action ne se produit plus que par intermittences saccadées, il y a toute une phase intermédiaire où les phénomènes prennent un caractère d'oscillations régulières, d'abord peu sensible, puis plus prononcé, à mesure que la photosphère s'épaissit et que des couches plus profondes sont atteintes à leur tour par les courants descendants. Dans cette phase d'oscillations à peu près régulières, il n'y a pas de raison pour que la lumière émise par la photosphère change essentiellement de nature. Mais il n'en sera plus de même dans le cas extrême d'intermittences brusques, éloignées, cessant même peu à peu de conserver un caractère périodique. Alors, à chaque rupture subite d'équilibre, à chaque effondrement des couches incomplétement gazeuses qui supportent ou qui forment la photosphère épaissie, correspondra un afflux énorme de matières gazeuses venues de l'intérieur avec une très-haute température, et la photosphère pourra être en grande partie altérée dans son allure ordinaire. Dans certaines régions, la condensation chimique sera partiellement supprimée, et ces parties-là, où les gaz et les vapeurs conserveront quelque temps une très-haute température, n'émettront qu'une lumière analogue à celle des nébuleuses, lumière caractérisée par des raies brillantes et non par des raies noires. La coexistence de ces deux lumières dans le mince faisceau que l'étoile envoie à nos yeux donnera, au spectre de l'étoile, cet aspect mi-parti de deux spectres superposés que l'on a reconnu effectivement dans l'étoile nouvelle du 12 mai, et qui a persisté pendant une grande partie de la phase de décroissement d'éclat.

En résumé, les étoiles dites nouvelles ne méritent pas ce nom : leur apparition presque subite n'est qu'une exagération du phénomène ordinaire des étoiles périodiquement variables, lequel répond lui-même à de simples oscillations plus ou moins sensibles dans le phénomène de la production et de l'entretien des photosphères de toutes les étoiles. Ces phénomènes, considérés comme successifs dans l'histoire d'une étoile prise à part, caractérisent les progrès de son refroidissement et le déclin de la phase que j'appellerai volontiers solaire ou phostophérique. Quand ils se produisent ainsi avec le caractère d'intermittences irrégulières de plus en plus séparées par de très-longs intervalles de temps, ils sont les précurseurs de l'extinction définitive, ou du moins de la formation d'une première croûte plus ou moins consistantes. C'est pourquoi les phénomènes de ce genre ne se produisent que dans les astres d'un éclat déjà très-faible et n'aboutissent jamais à doter le ciel d'une belle étoile de plus.

FAYE.

(1) Le mot *subit* est exagéré. Nous venons d'apprendre que l'étoile du 12 mai a été vue au Canada, par M. Barker, avec l'éclat d'une étoile de quatrième grandeur. Le 10, elle égalait α de la Couronne (2 $\frac{1}{2}$).

INSTITUTION ROYALE DE LA GRANDE-BRETAGNE.

(Lectures du vendredi soir.)

CONFÉRENCE DE M. PENGELLY.

La caverne de Kent.

La célèbre caverne de Kent, ou trou de Kent, se trouve à environ un mille à l'est du port de Torquay. Cette caverne est située dans une petite colline de calcaire, boisée à la surface, et sur le côté occidental d'une vallée, qui, s'étendant vers le sud près d'un demi-mille, se termine sur la côte nord de la baie de Torbay.

Les collines qui entourent ce district sont constituées de calcaire, de diorite, de schiste argileux et d'un grès rougeâtre, ou grès compact. Les deux derniers sont traversés par des veines de

Digitized by Google

quartz; et, avec l'exception possible de la diorite, tous appartiennent au système dévonien. Toute la péninsule de Torquay est d'ailleurs composée exclusivement de roches de cette époque.

S'il faut en croire les traditions, il y avait autrefois quatre ou cinq entrées à la caverne, mais deux seulement étaient généralement connues; les autres n'étaient que d'étroites ouvertures par lesquelles, jusqu'à ce qu'on les eût bloquées à l'intérieur, les initiés avaient coutume de pénétrer dans la caverne. Les deux qui restent actuellement, placées à environ cinquante pieds l'une de l'autre, se trouvent sur le même côté d'un escarpement naturel, s'étendant nord et sud, sur la face sud-est de la colline. L'entrée septentrionale a la forme d'un grossier triangle, haute d'environ six pieds et large de huit pieds à la base. L'entrée méridionale est une arche naturelle et assez symétrique; elle a à la base neuf pieds et demi de largeur et six pieds de haut. Cette forme provient en partie d'une courbe dans la couche et en partie de l'enlèvement de lits de calcaire par des causes naturelles. La base de l'ouverture, ou corde de l'arc, est une couche de calcaire; et l'on peut comparer cette ouverture à la gueule d'un four.

Depuis quarante ans, époque à laquelle des découvertes d'ossements ont rendu cette caverne fameuse, jusqu'au commencement des recherches faites sous les auspices de l'Association britannique pour l'avancement des sciences, l'ouverture méridionale a été bouchée. Les visiteurs entraient toujours par l'ouverture septentrionale. La base de cette dernière ouverture est environ à 189 pieds au-dessus du niveau de la mer, la base de l'autre est environ quatre pieds plus bas.

La caverne a été connue depuis un temps immémorial; la tradition n'indique même pas la date de sa découverte. Elle n'attira cependant l'attention des explorateurs scientifiques qu'en septembre 1824. M. Northmore la visita alors dans le double but, comme il l'a dit lui-même, « d'y découvrir des restes organiques et d'y retrouver les traces d'un temple de Mithras », et il déclara qu'il avait réussi dans ces deux recherches. Peu de temps après, dans l'été de 1825, elle fut visitée par M. Mac Enery, dont le nom sera toujours lié à celui de cette caverne. M. Mac Enery n'avait alors aucune expérience de telles recherches, car il nous raconte qu'il s'y rendit avec une nombreuse compagnie, et qu'en entrant dans la caverne il passa le dernier, ne pouvant se défendre de certaines sensations indéfinissables, car c'était la première fois qu'il visitait un lieu semblable. Cette visite est mémorable; bientôt il se sépara de ses compagnons, et fouillant dans un endroit, qu'il pensait devoir être favorable, il trouva plusieurs dents et plusieurs ossements. Il décrit ainsi ce qu'il ressentit dans cette occasion : « C'était les premières dents fossiles que j'aie jamais vues; et je reculais involontairement tout en saisissant ces reliques de races éteintes, ces témoins d'un ordre de choses qui avaient disparu avec eux. Quoique je ne fusse pas insensible à l'excitation que produit toujours une nouvelle découverte, je dois avouer qu'en présence de ces restes je ressentis plus de terreur que de joie. » Il communiqua immédiatement sa découverte au docteur Buckland et poursuivit ses recherches avec beaucoup d'énergie pendant plusieurs années. Autant qu'on peut le savoir par les notes qu'il a laissées, il visita la caverne pour la dernière fois, le 14 mars 1829.

A une certaine époque, M. Mac Enery s'était décidé à publier la relation de ses travaux et de ses découvertes, et déjà il avait fait des arrangements pour faire graver les figures nécessaires, quand malheureusement il changea d'idée. Après sa mort, on craignit que ses manuscrits n'aient été perdus ou détruits; mais enfin, après avoir passé par bien des mains, ils devinrent la propriété de M. Vivian, de Torquay, qui en publia une partie en 1859, sous le titre de *Cavern Researches*.

En 1840, M. Godwin-Austen lut, devant la Société géologique de Londres, un mémoire sur les cavernes à ossements du Devonshire; dans ce mémoire, il indiqua le résultat de ses recherches dans le trou de Kent.

En 1846, la Société d'histoire naturelle de Torquay nomma une commission pour faire des recherches dans une petite partie de la caverne de Kent. Quoique le principal objet en vue fût de se procurer des spécimens pour le musée de la Société, la commission étudia avec soin la position et l'entourage de tout ce qu'elle trouva. Un mémoire écrit par M. Vivian, membre de cette commission, fut lu devant la Société géologique de Londres en 1847. Le troisième volume du journal trimestriel de cette Société mentionne cette communication.

Bien qu'il soit permis de douter que toutes ces investigations aient été faites avec ces strictes méthodes, regardées aujourd'hui comme absolument nécessaires, il n'en est pas moins vrai, cependant, que tous les explorateurs déclarent unanimement qu'ils ont trouvé des instruments de silex mêlés aux restes d'animaux aujourd'hui disparus de nos contrées.

En 1858, les résultats produits par l'exploration méthodique de la caverne de Brixham, située sur la côte opposée de la baie, firent penser au monde scientifique que les prétendues découvertes faites de temps en temps, pendant plus d'un quart de siècle, dans la caverne de Kent, pouvaient bien après tout être plus véridiques qu'on ne l'avait pensé jusqu'alors. Depuis cette époque, on a proposé plusieurs moyens de recommencer les recherches. Comme vous le savez tous, ces suggestions furent discutées au meeting de l'Association britannique pour l'avancement des sciences en 1864; l'Association fournit les fonds nécessaires, et nomma une commission pour surveiller les explorations. Je vais avoir l'honneur de vous expliquer brièvement ce soir quels ont été jusqu'à présent les résultats de ces explorations, mais je vous prie de vous rappeler que je ne tirerai que des conclusions personnelles, sans engager en quoi que ce soit la responsabilité de la commission.

La commission s'occupa d'abord d'obtenir du propriétaire de la caverne l'autorisation nécessaire pour faire ces recherches. Sir L. Park, le propriétaire actuel, répondit à cette demande qu'il aurait le plus grand plaisir à faciliter autant qu'il serait en son pouvoir les travaux de la commission. Il remit la caverne entièrement à la garde de la commission et suggéra les arrangements les plus satisfaisants pour tous les objets intéressants qu'on pourrait y découvrir.

Quoique bien des parties de la caverne aient été déjà fouillées par M. Mac Enery et ses successeurs, il restait encore beaucoup de parties intactes. Il était à désirer, cependant, qu'on pût trouver une place où, non-seulement les dépôts seraient intacts, mais qui n'offriraient pas trop de difficultés pour les travaux. Après une visite d'inspection, la commission se décida à entreprendre l'exploration d'une large chambre dans laquelle s'ouvre immédiatement l'entrée méridionale de la caverne; on traça les règles à suivre pendant cette investigation, et l'on s'assura le concours d'ouvriers honnêtes et intelligents. M. Charles Keeping, frère du célèbre amateur de

Digitized by Google

fossiles, se chargea de diriger les travaux, sous la surveillance des deux membres résidents de la commission, M. Vivian et le secrétaire honoraire (1). Les travaux commencèrent le 28 mars 1865.

A l'extérieur de la caverne se trouvait un amas considérable de terre et de pierres; la partie supérieure de cet amas était constituée probablement de débris, jetés hors de la caverne par M. Mac Enery pendant ses recherches. Il était nécessaire de déblayer cette masse de débris pour arriver à l'entrée de la caverne choisie par la commission. Ces débris furent examinés avec soin, en partie pour découvrir s'ils ne contiendraient pas quelques objets intéressants, mais surtout pour exercer les ouvriers à leur nouveau travail.

Aucune partie de la caverne n'est sujette aux inondations, et la chambre choisie pour les recherches de la commission est parfaitement sèche. Depuis le commencement des travaux il a plu très-considérablement, cependant l'eau n'a pénétré dans la caverne qu'en quelques endroits seulement, et jamais en quantité suffisante pour incommoder les ouvriers.

Voici l'ordre des couches de terrain dans la chambre explorée, en commençant par la couche supérieure :

1° De larges blocs de calcaire, tombés certainement de la voûte. Pour parvenir à enlever quelques-uns de ces blocs, il a été nécessaire d'avoir recours à la mine; il a fallu même quelquefois faire sauter les fragments produits par l'emploi de la mine. Un de ces blocs avait 11 pieds de long, 5 pieds 1/2 de large, et 2 pieds 1/2 d'épaisseur; il cubait donc plus de 100 pieds cubes et devait peser au moins sept tonnes. Dans quelques endroits, deux ou trois de ces blocs reposaient l'un sur l'autre, cimentés ensemble par une couche de stalagmites; d'autres, au contraire, ne faisaient que reposer les uns sur les autres. Quelquefois, ce qui paraissait n'être qu'un dôme de stalagmites, consistait en un ou plusieurs blocs de calcaire, recouverts de tous côtés d'une couche de stalagmites. Certains blocs, éloignés de tout suintement, ne portaient même pas la trace de stalagmite.

2° Au-dessous de ces blocs de calcaire se trouvait une couche de terre végétale presque noire. Cette couche variait en épaisseur de quelques pouces à un pied.

3° Au-dessous de la terre végétale, une couche de stalagmites, composée de fragments assez petits de calcaire, si parfaitement cimentés ensemble par le carbonate de chaux qu'il fallut souvent recourir à la mine pour briser cette couche. Cette couche avait rarement moins, mais ordinairement beaucoup plus d'un pied d'épaisseur. Partout cette couche était fortement attachée aux murailles, et quelquefois s'étendait à travers toute la chambre. Il se trouvait cependant des endroits qui n'étaient pas recouverts de cette couche de stalagmites; soit qu'il n'y ait pas eu d'écoulement d'eau à cet endroit, soit qu'il fût recouvert par un bloc de calcaire.

4° Au-dessous de cette couche se trouve le terreau rougeâtre ordinaire des cavernes; ce terreau contient un grand nombre de morceaux de calcaire de toutes les grosseurs, sans le moindre arrangement symétrique. En un mot, le dépôt entier ne montre pas la moindre stratification. Bien des pierres sont partiellement entourées de matières calcaires; dans quelques endroits aussi, terreau, pierres, éclats d'ossements, sont cimentés en une sorte de gâteau solide. Jusqu'à présent, on n'a creusé ce terreau qu'à une profondeur de quatre pieds, et l'on ne sait pas quelle peut être l'épaisseur de la couche, ou ce qui se trouve au-dessous. Quand ce terreau rougeâtre n'est pas recouvert de stalagmites, la terre végétale se trouve immédiatement au-dessus, mais la ligne de démarcation entre les deux couches est partout bien tranchée, et jamais elles ne sont mêlées l'une à l'autre.

Comme les larges masses de pierre calcaire se trouvent à tous les niveaux dans le sol de la caverne, il est certain que, quelle que soit la cause de leur chute, on ne peut l'attribuer à la même période. Ces masses tombèrent de temps en temps pendant l'accumulation du terreau rougeâtre, elles continuèrent de tomber pendant la formation de la couche de stalagmites, aussi bien que pendant l'introduction de la terre végétale; et c'est encore un des phénomènes les plus récents que présente la caverne. Il y a même des preuves positives qu'un temps considérable a dû s'écouler entre la chute de deux blocs placés l'un au-dessus de l'autre à la surface; intervalle de temps assez considérable pour permettre la formation entre eux d'une couche de stalagmites, qui atteint quelquefois une épaisseur de six pouces. Enfin il n'y a pas à douter que d'autres blocs sont tombés tout récemment.

Il n'est pas facile d'expliquer la cause de ces chutes. Il n'est guère possible de les attribuer à des convulsions de la nature, car il faudrait en supposer un trop grand nombre. Il faudrait d'ailleurs supposer de violents tremblements de terre; car, quoique la voûte de la chambre ait une grande ouverture, et ne soit supportée par rien, quoique son aspect actuel ne soit pas disposé de manière à inspirer beaucoup de confiance, il n'en est pas moins vrai que les ébranlements violents produites par l'emploi de la mine, ébranlements assez forts pour transporter à plusieurs pieds de distance des masses pesant plus d'une tonne, n'ont jamais fait tomber un seul éclat de la voûte.

On a quelquefois attribué la chute de ces blocs à un changement de dimension dans la voûte, produit par un changement de température; mais il semble difficile de s'arrêter à cette supposition, car la température de la caverne est constante pendant toute l'année.

Les masses de pierre calcaire se trouvant à la surface étaient une garantie suffisante que les dépôts inférieurs étaient intacts. Une partie de la caverne, si facilement accessible, n'aurait certainement pas été épargnée par M. Mac Enery, s'il n'avait été arrêté par quelque grande difficulté; en effet, il constate, lui-même, que les blocs de pierre calcaire, qu'il lui fut impossible d'enlever, s'opposèrent aux explorations qu'il voulait faire dans cette chambre.

Voici en quelques mots le mode d'exploration adopté par la commission, depuis le commencement des travaux, et vous comprendrez qu'avec ce mode d'opérations il est facile de déterminer la position exacte de tous les objets trouvés :

1° La terre végétale noire, placée entre les blocs de pierre calcaire, a été examinée avec soin et enlevée.

2° Les masses de pierre calcaire, formant la surface de la chambre, ont été brisées et transportées hors de la caverne.

3° Une ligne droite horizontale a été tirée d'un point fixé à l'entrée jusqu'à l'extrémité de la chambre.

4° Des lignes, perpendiculaires à cette première ligne, et à un pied de distance l'une de l'autre, ont été tracées dans toute la chambre. Ces lignes sont parallèles et divisent les dépôts en bandes, que, pour plus de commodité pendant les travaux, on a appelé des « parallèles ».

5° On retire d'abord dans chaque parallèle la terre végétale;

(1) M. W. Pengelly est le secrétaire honoraire de la Commission.

Google

on examine cette terre; puis on enlève la couche de stalagmites de manière à mettre à nu la surface du terreau rougeâtre.

6° Enfin on enlève le terreau rougeâtre par morceaux contenant trois pieds cubes.

Ces matériaux sont d'abord examinés *in situ*, à la lumière de lampes, puis on les transporte à l'entrée de la caverne, pour les examiner au jour, après quoi on rejette ces matériaux hors de la caverne. Une boîte spéciale est destinée à tous les objets intéressants trouvés dans chaque morceau de trois pieds cubes. Ces boîtes portent une étiquette indiquant exactement la situation occupée dans la caverne par les objets qu'elles contiennent; puis ces objets sont nettoyés et placés en ordre dans de nouvelles boîtes.

Les membres résidents de la commission ont visité chaque jour la caverne, depuis le commencement des travaux, et ils ont régulièrement envoyé un rapport mensuel à sir Charles Lyell, président de la commission.

Quoiqu'il soit encore trop tôt pour essayer une liste complète de tous les débris trouvés dans la caverne, quelques détails à ce sujet vous intéresseront sans doute.

Quant aux objets trouvés dans la terre végétale, on a fait une distinction, entre ceux trouvés dans les interstices des blocs de pierre calcaire, et ceux qui se trouvaient au-dessous de ces blocs. Une telle division est d'ailleurs peu nécessaire à cause de la nature même des objets trouvés, et je ne m'y arrêterai pas ce soir. On peut aussi placer dans cette catégorie le plus grand nombre des objets trouvés dans le talus à l'extrémité de la caverne. La collection de ces objets est d'une nature très-variée. On y trouve des pierres de différentes sortes, des restes d'industrie humaine, du bois carbonisé, des os de différents animaux, des coquilles marines et terrestres, et des coquilles brisées de noisettes; auprès d'un nid de lapin à peine revêtu de fourrures, auprès d'une quantité considérable de morceaux de bouteilles cassées, restes de nombreuses parties de plaisir, faites dans cet endroit, on y trouve des instruments de bronze et de pierre. Cette collection représente donc un espace de temps de quinze cents ou deux mille ans.

Les pierres sont ordinairement bien arrondies, et quelques-unes au moins d'origine marine. Ce sont des pierres calcaires, des quartz, des grès rouges, des diorites et des silex; tous, excepté ces derniers, se trouvent dans le voisinage immédiat, et viennent probablement des côtes voisines, où peut-être, aussi, on a trouvé les silex; car, quoiqu'il n'y ait pas de silex *in situ*, à cinq milles de distance, il est maintenant prouvé qu'on a souvent trouvé de ces cailloux à une distance plus considérable encore. Les pierres arrondies se trouvent en quantité considérable dans la terre végétale de la caverne; il n'y a pas lieu de douter que ces pierres soient le résultat d'un choix et qu'elles aient été apportées dans cette caverne, mais il est difficile de comprendre dans quel but. On y a trouvé aussi plusieurs morceaux d'un grès dur, gris verdâtre, d'une forme allongée, employés sans doute à aiguiser. Des pièces angulaires d'ardoise y sont aussi en nombre considérable. Ce sont probablement des fragments d'objets fabriqués par l'homme, car on a retrouvé quelquefois des morceaux qui faisaient certainement partie d'une plaque curviligne. M. Mac Enery prétend avoir retrouvé des plaques entières, et suppose qu'on les employait en guise de couvercles pour des vases de terre. Les restes de l'industrie de l'homme consistent en articles de bronze et d'os et en poteries.

Les articles de bronze sont une agrafe, le cuilleron et partie du manche d'une cuiller, une tête de lance, deux ou trois anneaux, une épingle d'environ 3 pouces 3/4 de longueur, et un objet ressemblant à un fer à cheval, mais qui n'a pas plus d'un pouce de longueur. On peut aussi mentionner, au nombre de ces objets, un morceau de métal, que, par son aspect général, on prendrait pour du minerai de cuivre, mais qui, d'après l'intérieur, serait probablement du cuivre natif ou du métal fondu. M. Mac Enery rapporte qu'il a trouvé un morceau semblable. Les poteries, excepté toutefois un petit morceau, probablement de poterie samienne, sont excessivement grossières, et ne sont pas ordinairement vernissées. On a retrouvé une grande quantité de fragments, mais pas de vase entier. Ces fragments sont ordinairement couverts d'ornements, et les différences d'ornements, ainsi que bien d'autres raisons, font penser qu'ils représentent un nombre considérable d'ustensiles divers. Un de ces morceaux faisait probablement partie d'un vase dans lequel on faisait brûler des objets, car à sa surface intérieure on a retrouvé, attachés au vase, des morceaux de charbon. Il n'y a pas lieu de douter que quelques-unes de ces poteries appartiennent à l'époque romaine.

Les objets faits d'os sont un peigne, qui par la grandeur et la forme ressemble à une corne à mettre les souliers, avec des dents coupées dans l'extrémité la plus large; une cuiller faite avec une côte, et ayant environ 6 pouces de long et 9/10° d'un pouce de large; un ciseau, ayant à peu près 2 pouces 1/2 de longueur et un demi pouce de largeur; un coin assez grossier, fait avec la corne d'un cerf; deux petits fragments qui paraissent être les restes d'un peigne, l'un d'eux porte les traces d'ornements; et un objet d'environ 3 pouces de long, qui paraît être le manche de quelque outil.

On retrouve beaucoup de bois carbonisé. Quelques spécimens ne peuvent pas se distinguer du charbon de bois préparé, d'autres ne sont certainement que des bâtons brûlés, quelques-uns sont d'une grandeur remarquable.

Les ossements y sont extrêmement nombreux. Ils sont plus ou moins décolorés et ont perdu une partie considérable de leur poids. On n'a pas retrouvé les éléments entiers d'un squelette au même endroit. Parmi ces ossements sont ceux du cochon, du cerf, du mouton, du blaireau, du renard, du loup, de la chauve-souris, du lièvre, du lapin, d'oiseaux et de plusieurs espèces de poissons. Plusieurs d'entre eux paraissent avoir été exposés à l'action du feu.

Les coquilles terrestres consistent principalement en différentes espèces de limaçons, surtout des plus grandes espèces. On les trouve à tous les âges de leur croissance, ce qui rend probable qu'ils avaient établi une colonie dans la caverne. Au nombre des coquilles marines se trouvent le lépas, le buccin, l'huître, la moule, le solen, et la coquille intérieure de la sèche, la *Sepia officinalis*.

Il ne faut pas aller loin pour trouver la source des nombreuses coquilles de noisettes qu'on trouve dans la caverne. Elles ont été sans aucun doute trouvées dans les bois qui entourent la caverne et ont été apportées par les petits animaux, qui y vivaient. La plupart de ces coquilles ont un trou à une de leurs extrémités.

Au-dessous de la terre végétale noire, nous trouvons la couche de stalagmites. Les ouvriers cassèrent, avec soin, cette

Digitized by Google

couche en petits fragments, pour en retirer les quelques objets qu'elle pouvait contenir. Cette recherche, quoique peu productive, n'a cependant pas été inutile. On a trouvé dans cette couche de stalagmites du bois carbonisé, des coquilles marines et terrestres, et des ossements de différents animaux, appartenant à des espèces qui habitent encore le Devonshire.

Immédiatement au-dessous de cette couche, est le terreau rougeâtre, et où l'on trouve des restes de plusieurs espèces éteintes d'animaux. La seule différence qu'on remarque dans les quatre pieds de profondeur sur lesquels on a enlevé ce terreau, c'est que la partie supérieure est la plus pauvre et la partie inférieure la plus riche en ossements; dans cette dernière partie, on trouve aussi quantités d'ossements brisés en petits morceaux, ce que l'on rencontre rarement dans la partie supérieure. Sous d'autres rapports c'est partout la même chose; partout on retrouve les matériaux qui forment les cailloux de différentes espèces de roches, qui ne diffèrent de ceux trouvés dans la terre végétale qu'en ce qu'ils sont moins nombreux; partout on retrouve des ossements représentant les mêmes espèces d'animaux; partout enfin on retrouve des « instruments » de silex des mêmes types. Il sera donc inutile de décrire ce terreau rougeâtre à différentes profondeurs.

Les ossements trouvés au-dessous de la couche de stalagmites sont plus lourds que ceux trouvés au-dessus. Cette différence est si marquée et si constante qu'elle est caractéristique. Il serait facile de dire, par le poids spécifique seul de ces ossements, dans quelle couche on les a trouvés. La plupart de ceux qui proviennent du terreau rouge ne sont que peu décolorés; quelques-uns ont la blancheur de la chaux. Quelques autres cependant sont très-décolorés, conséquence probable d'une plus longue exposition à l'air. Sur presque tous ces derniers, on remarque souvent des lignes et des taches de couleur plus claire, qui ressemblent beaucoup aux taches laissées par des lichens ou des mousses, sur les objets sur lesquels ils ont poussé.

Beaucoup d'ossements, y compris des mâchoires, des dents et des cornes, portent des marques d'entailles faites par les dents d'animaux de différentes espèces. Quelques longs ossements sont fendus longitudinalement. Beaucoup paraissent avoir été roulés, y compris ceux qui ont été rongés et, dans le cas de ces derniers, on peut arriver facilement à la conclusion qu'ils ont été roulés après le rongement. Quelques ossements trouvés sous des blocs de pierre calcaire, tombés de la voûte, sont écrasés, et semblent ainsi donner la preuve que le terrain sur lequel ils reposaient, et sur lequel ces blocs sont tombés, était compact et offrait une grande résistance.

Les petits morceaux d'ossements, dont j'ai déjà parlé, sont ordinairement cimentés avec du terreau et des pierres. On retrouve souvent autour de ces fragments d'ossements une substance couleur de crème, qu'on a retrouvée aussi en morceaux séparés; cette substance a une densité très-peu élevée. On suppose que ce sont des matières fécales.

Souvent, il est impossible de nettoyer parfaitement les ossements, recouverts qu'ils sont d'une couche mince qui défie la brosse. Cependant, quand après les avoir lavés on les laisse sécher, cette couche se détache d'elle-même, et l'on peut reconnaître alors qu'elle consiste en terre et en carbonate de chaux.

Les dents sont les ossements les mieux conservés dans la caverne. On en trouve un nombre considérable. Parmi les animaux représentés, on peut citer, l'ours, le lion, l'hyène, le renard, le cheval, probablement plus d'une espèce, le bœuf, plusieurs espèces de daims, le rhinocéros tichorhine, et le mammouth. Les restes des hyènes sont les plus abondants, après quoi viennent ceux du rhinocéros et du cheval. Les restes des mammouths, molaires et défenses, sont ceux de très-jeunes individus.

J'ai déjà dit que les « instruments » de silex se trouvent partout dans le terrain rouge de la caverne, mêlés aux restes de mammifères disparus. Plusieurs de ces instruments ont été trouvés en présence de membres de la commission. Comme les ossements, ils sont moins abondants dans la partie supérieure du terreau que dans la partie inférieure. Jusqu'à présent, et sans compter des spécimens douteux et de nombreux éclats, environ trente instruments ont été retrouvés. Quoi qu'on donne à tous le nom d'instruments de silex, quelques-uns sont fait de pétrosilex. Les silex, proprement dits, sont tantôt foncés, tantôt gris clair, tantôt presque blancs, offrant une certaine ressemblance avec de la porcelaine. Les spécimens de pétrosilex sont gris clair. A l'exception de trois, ces instruments sont plats d'un côté et plus ou moins carénés de l'autre. Quelques-uns ne sont que des fragments, d'autres ont été trouvés brisés, mais les morceaux étaient l'un auprès de l'autre, d'autres enfin sont parfaits. Les spécimens brisés, de la variété blanche, montrent que toute la masse n'est pas de cette couleur, ils ont un axe central foncé. Les trois spécimens, qui font exception, sont de pétrosilex et travaillés des deux côtés. On a trouvé ces trois spécimens à trois profondeurs différentes. L'un a environ 4 pouces trois quarts de long, et à l'endroit le plus large 2 pouces et demi. Une des extrémités se termine en pointe; l'autre extrémité a environ trois quarts de pouce de largeur. Un des côtés seulement est coupant. Les deux autres sont mieux faits, le coupant s'étend tout autour du périmètre; ils ont à peu près les mêmes dimensions que celui que nous venons de décrire.

Le temps restreint que j'ai à ma disposition ne me permet pas de développer toutes les considérations, tous les témoignages que j'ai entre les mains; je me contenterai d'exprimer ma conviction que ces instruments sont des ouvrages de l'homme, et qu'il est impossible, en présence de ces ouvrages retrouvés au milieu des ossements du mammouth et de l'ours des cavernes, de douter un seul instant que l'homme n'ait été le contemporain de ces animaux.

Ce ne sont pas là, d'ailleurs, les seules preuves de la présence de l'homme que nous fourmisse le sol de la caverne. On a retrouvé dans le terreau rouge, au milieu de ces ossements, des os calcinés.

J'ai déjà parlé de pierres roulées retrouvées dans le terreau et qui n'existent pas dans les collines où est située la caverne Il semble probable que quelques-unes de ces pierres sont le résultat d'un choix et ont été apportées par l'homme; dans quel but? c'est ce qu'il est moins facile de dire. Mais il y a deux pierres, tout au moins, qui méritent une plus grande attention. La première a 4 pouces trois quarts de long et un peu moins d'un pouce d'épaisseur. C'est un morceau de grès gris-pourpre, qui sans aucun doute a servi de pierre à aiguiser. On l'a trouvé dans la partie supérieure du terreau rouge, dans une petite cavité de la paroi septentrionale de la chambre, immédiatement au-dessous d'un bloc de pierre calcaire. Les membres de la commission pensèrent d'abord que cette pierre avait glissé par un trou, à une date comparative-

Digitized by Google

ment récente, et ils se mirent à chercher par quel moyen cette pierre aurait pu arriver où elle était. Ils n'y réussirent pas. Il n'existait aucun trou, aucun passage vertical ou latéral, conduisant à cette cavité. Non-seulement, comme je viens de le dire, il y avait au-dessus de cette cavité un immense bloc de pierre calcaire; mais au-dessus de ce bloc lui-même, ainsi que sur toute la partie environnante, il y avait une masse compacte de stalagmites, masse de huit pieds d'épaisseur, et qu'il fallut enlever avant qu'on ne découvrît, ou qu'on ne soupçonnât même cette cavité.

La seconde pierre trouvée à deux pieds de profondeur, dans le terreau rouge, est un grossier sphéroïde de grès rouge qui a dû servir de marteau.

Outre le plaisir qui accompagne toujours les découvertes scientifiques, la commission a pu confirmer les découvertes de ses prédécesseurs. Bien que dans ces nouvelles recherches on n'ait pas encore retrouvé les restes du *Machærodus latidens*, qu'avait trouvés M. Mac Enery, ou ceux de l'*Hippopotamus major*, qui, selon le professeur Owen, se trouvent dans cette caverne, on n'a rien trouvé non plus qui puisse jeter le moindre doute sur les travaux des premiers investigateurs. Retrouvera-t-on comme, M. Godwin-Austen l'avait fait, des ossements humains mêlés à ceux d'animaux disparus, c'est ce que la suite des travaux prouvera. En attendant, on peut répondre à ceux qui attachent une grande importance au fait, qu'on ne trouve pas les ossements humains aussi facilement que les ouvrages de l'homme, que, dans la terre végétale, rien aussi que ses ouvrages n'atteste sa présence. Dans cette terre végétale, comme nous l'avons dit, on retrouve de nombreux fragments de poterie, des ustensiles, des ornements de bronze, d'os et de pierre; mais là, pas plus que dans les dépôts plus anciens, on ne retrouve la moindre trace des ossements de l'homme.

Traduit sur le texte et avec l'approbation de M. W. PENGELLY.
par E. BARBIER.

HOPITAL BEAUJON.

PATHOLOGIE EXPÉRIMENTALE (1).

COURS DE M. G. SÉE.

Les anémies d'épuisement nerveo-musculaire.

Dans les traités classiques de physiologie et de médecine, la fatigue musculaire est indiquée sans hésitation comme une source d'appauvrissement du sang, comme une cause d'anémie ; mais la preuve n'en a jamais été fournie, et les données récentes de la science expérimentale ont mis en doute et le fait et l'explication. Le travail excessif ne se borne pas à altérer les globules; il lèse profondément tous les tissus, et cela est si vrai que, chez les animaux surmenés, il est facile, d'après les recherches de Bouley, de provoquer les maladies les plus graves, entre autres la morve. L'exercice musculaire est, dans de larges limites, un véritable bienfait. Mais dès que la dépense de forces est exagérée ou continue, il en résulte une détérioration de tout le système musculaire, et par suite un dépérissement bien autrement grave que l'anémie globulaire. Le travail physique produit donc moins ou plus qu'une anémie. Mais quelle est la limite du travail, et quand commence l'abus des forces? Quel est le genre de nourriture approprié au développement des forces musculaires? La solution de ces questions, qui touchent de si près l'hygiène sociale, exigera de nombreux développements. Il importe de savoir : 1° les transmutations intimes qui s'opèrent dans le muscle pendant le travail, soit modéré, soit excessif; 2° la transformation des affinités chimiques en travail mécanique ; 3° enfin les modifications que le travail imprime à l'organisme dans les conditions hygiéniques normales ou défectueuses.

(1) Voy. le n° 35.

§ 1er. — OXYDATION DU MUSCLE.

La composition du muscle comme ses propriétés physiques diffèrent absolument, selon qu'il est à l'état de repos, de contraction, de fatigue. Dès que le muscle est excité à prendre l'état actif, ses oxydations se multiplient, ses forces augmentent, son travail mécanique commence. Si ce travail est exagéré, les produits d'oxydation s'accumulent dans l'organe, dont ils gênent le fonctionnement, c'est la fatigue ; si enfin le muscle cesse d'absorber l'oxygène, il entre dans cette phase mortelle appelée rigidité cadavérique, qui peut, au milieu de la vie, envahir un muscle ou un groupe musculaire isolé. La composition chimique diffère naturellement dans ces divers états du muscle.

Oxydation pendant le repos et l'action. — La substance musculaire, abstraction faite des tissus tendineux et connectifs, se compose de trois séries fondamentales : les corps protéiques, leurs produits d'oxydation incomplète (créatine, sucre, acides), les produits ultimes et gazeux de combustion. A ces principes essentiels, il faut ajouter les matières salines, formées surtout par les phosphates potassique et magnésien, qui rappellent les sels des globules.

(a) *Corps albumineux constituants : musculine et myosine.* — Tant que le muscle est excitable, c'est-à-dire vivant, ses fibres contiennent une solution concentrée de plusieurs corps albumineux, dont l'un a été désigné sous le nom de syntonine par Lehman et de musculine par Robin, l'autre constitue la myosine. La musculine est soluble dans l'acide chlorhydrique dilué, et ce caractère la distingue de la fibrine du sang autant que des autres corps protéiques; mais des doutes se sont élevés sur l'autonomie de cette substance, en tant que corps préexistant dans le muscle. Ce qui est certain, c'est qu'elle ne prend pas une part exclusive à la constitution de la partie contractile.

Une matière protéique, à la fois soluble et coagulable, a été découverte par Kühne, qui l'a extraite du muscle à l'aide d'une solution de sucre. Ce suc musculaire, qu'on a appelé myosine, est singulièrement influencé par la température : plus celle-ci est élevée, plus le suc albumineux se coagule rapidement; à 45 degrés sa coagulation est instantanée; aussi, chez les mammifères, la mort a lieu infailliblement à 49 degrés de chaleur; la myosine du cœur se fige et enraye ses mouvements (Bernard). C'est encore la coagulation qui détermine les phénomènes de la rigidité cadavérique et de la fatigue.

Outre la myosine et la musculine, le muscle contient encore des traces d'albumine qu'on peut entraîner par une injection d'eau; le suc spécial reste dans la trame fibrillaire.

Digitized by Google

(b) *Produits dérivés de la musculine : créatine, acide urique.* — Dans le muscle, on trouve un grand nombre de produits d'oxydations. Les plus importants sont la créatine et la créatinine, dont l'ensemble se monte chez les mammifères à 18 pour 100, au repos, et à 21 pour 100 pendant la contraction (Sarokin); dans le dernier cas, c'est la créatine qui subit la principale augmentation : elle dépasse alors de plus de moitié la proportion de créatinine. Toutes deux dérivent des corps albuminoïdes du muscle, et ce qui le prouve, c'est que la créatine, en passant par le sang, où elle prédomine, se transforme d'une part en urée et d'autre part en créatinine, et c'est sous cette dernière forme qu'elle est éliminée par l'urine.

Outre ces produits régressifs, le muscle contient de l'acide urique et des substances qui s'en rapprochent ; c'est la sarkine, la xanthine, l'hypoxanthine, qui sont toutes isomères.

Inosite, glycose. — Scherer a constaté dans le cœur, de l'inosite qui diffère du sucre de raisin en ce qu'il n'est ni fermentescible ni susceptible de réduire la liqueur de Fehling. Cette substance, qu'on a retrouvée dans certains parenchymes (Valentiner), dans les urines pathologiques (Gallois), et même dans les urines saines, semble manquer dans les muscles de la vie de relation : mais il existe dans tous les muscles une quantité très-appréciable de glycose analogue au sucre hépatique et diabétique. Déjà soupçonné par Poiseuille et Lefort, indiqué par Samson, démontré par Rouget dans les muscles de l'embryon, où il est à l'état de matière glycogène, le sucre a été retrouvé par Meisner dans la substance musculaire en général, même quand l'alimentation ne comprenait ni fécule ni sucre. Comme c'est dans le muscle et non dans le sang que la matière saccharine a son siége, on peut supposer qu'elle n'est qu'un produit du dédoublement ou de l'oxydation des matières protéiques. Si Meisner l'a constatée principalement dans le muscle au repos, Ranke a au contraire prouvé qu'elle ne se développe que pendant et par la contraction.

Acide lactique. — Le muscle qui a conservé ses propriétés vitales, à moins d'avoir été épuisé par le travail, fournit un suc constamment neutre ou alcalin. Du Bois-Reymond a prouvé, contre Liebig, qu'un fragment de muscle pris sur le vivant, ou sur un animal qui vient de mourir sans convulsions, présente toujours l'une ou l'autre des réactions indiquées, même si l'on a eu soin de vider les vaisseaux par un courant d'eau, pour éviter l'immixtion du sang, qui est alcalin. L'acidité est, au contraire, manifeste pendant la vie, lorsque le muscle a été fatigué, ainsi à la suite des convulsions, de tétanos, soit spontané, soit provoqué par la strychnine ou par des courants électriques répétés. La preuve de cette influence s'acquiert facilement, si l'on compare sur le même animal empoisonné par la strychnine les muscles en général avec ceux des membres inférieurs, dont on a préalablement coupé le nerf sciatique, de façon à enrayer les convulsions locales. Le même phénomène se développe aussi sur les muscles qui subissent la rigidité cadavérique; il suffit de les exposer à une température de 45 degrés pour qu'à l'instant même ils deviennent rigides et en même temps acides. Dans tous ces cas, la réaction est due à l'acide lactique ; cet acide se forme dans le muscle lui-même et ne préexiste pas dans le sang, car on peut enlever impunément tout le sang sans détruire l'acidité du muscle. Quand l'organe est épuisé par des contractions successives, l'acide lactique s'accumule dans le suc musculaire, dont il détermine bientôt la coagulation. Par le fait des contractions, le sucre augmente et subit, selon toutes les probabilités, la fermentation lactique. On sait aujourd'hui que tous les sucres, c'est-à-dire non-seulement le sucre de lait, mais aussi la glycose et l'inosite, peuvent, en se décomposant, donner naissance à l'acide lactique.

(c) *Échanges gazeux ou respiration des muscles.* — Si la transformation de la musculine et de la myosine en principes régressifs n'est pas directement démontrée, il ne reste, au contraire, aucun doute sur les oxydations complètes qui s'opèrent dans le muscle ; il absorbe, en effet, l'oxygène et dégage l'acide carbonique ; c'est la preuve d'une respiration intime, qui peut s'opérer même dans le muscle entièrement isolé et privé du sang qu'il contenait. Lorsque, ainsi préparé, on plonge le muscle dans l'oxygène, il conserve son irritabilité bien plus longtemps que dans les autres gaz (Humboldt). Il continue à absorber l'oxygène, et en même temps à former de l'acide carbonique, surtout si l'on excite le nerf moteur. Ces phénomènes sont plus marqués pendant la vie ; les échanges gazeux acquièrent toute leur intensité pendant l'excitation, c'est-à-dire pendant la contraction du muscle : on peut s'en assurer en comparant le sang du muscle au repos avec celui du muscle qui fonctionne. Le sang veineux contient en moyenne 6,71 pour 100 d'acide carbonique de plus que le sang artériel. Pendant la contraction, la différence s'élève à 10,79 pour 100 (Sczelkow). L'acide carbonique exhalé par le muscle lui-même augmente dans des proportions encore plus marquées; il peut s'élever de 82 à 180 ; mais il est un fait important à noter, c'est que l'absorption d'oxygène n'augmente jamais de plus de 50 pour 100. Pendant la contraction, il y a pour un volume d'oxygène absorbé plus d'acide carbonique expiré qu'au repos, c'est-à-dire que la plus grande partie de l'oxygène absorbé est utilisée pour la formation de l'acide carbonique. On peut donc affirmer que les oxydations sont toutes augmentées, mais surtout celles qui sont complètes.

Au résumé, la chair musculaire se détruit pendant et par le travail qu'elle fournit. Les résultats de cette usure sont, d'une part, les dérivés azotés, la créatine, l'acide urique, la sarkine; d'autre part, des dérivés hydrocarbonés (sucre et acide lactique); enfin des produits ultimes (acide carbonique). C'est là la doctrine qui a régné jusqu'à ce que Bischoff et Voit vinrent soutenir que le travail ne désagrége et ne détruit pas les éléments du muscle. Nous discuterons cette opinion qui est contraire à toutes les idées reçues.

Oxydations pendant la fatigue musculaire. — Tous les genres d'excitants n'exercent pas le même effet sur le muscle, et son irritabilité varie sans cesse. Si elle augmente, par exemple, avec la quantité d'oxygène qu'il renferme (Humboldt, G. Liebig), avec la force du courant musculaire, il arrive cependant un moment où toutes les excitations produisent les mêmes résultats : après des contractions répétées ou prolongées, le fonctionnement même du muscle finit par abaisser la force musculaire pour un certain temps, et cette dépréciation s'appelle la fatigue. Quelle en est la cause réelle? Est-ce l'usure de l'oxygène, ou l'accumulation des produits d'oxydation dans le muscle, ou le défaut d'éléments nouveaux préparés pendant le repos? Les produits régressifs s'accumulent manifestement dans le sang. Lorsque, en effet, on soumet une grenouille à l'action de la strychnine jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de contractions réflexes, et qu'on enlève tout le sang en saignant l'aorte, les mouvements reparaissent par des excitations électriques, qui jusque-là étaient restées impuissantes. Ainsi, la soustraction du sang intra-musculaire enlève les

Digitized by Google

agents de l'épuisement. Or, comme le sang, ainsi que nous le démontrerons, loin d'être contraire à l'action du muscle, lui est pour ainsi dire indispensable, ce sont les produits anormaux qui lui impriment des qualités nuisibles. Dès l'instant qu'ils sont entraînés par la circulation, la fatigue cesse. Ce qui prouve que c'est bien le suc musculaire, devenu acide, qui est la cause de l'épuisement, c'est que, si l'on injecte ce liquide, on diminue graduellement l'irritabilité du muscle, qui dès lors ne se contracte plus que faiblement, et si l'on opère sur le cœur, il ne se remet plus.

Parmi les matières contenues dans le plasma musculaire, c'est surtout l'acide lactique qui agit ; car, si on l'injecte seul, il tue immédiatement le cœur et les autres muscles, après une excitation préalable. En ce cas, il suffit de neutraliser l'acide pour que le phénomène fasse défaut.

Au résumé, le muscle qui est fatigué n'est pas encore épuisé; la fatigue résulte de l'accumulation des produits de décomposition dans le muscle. Ce n'est pas le tissu contractile qui manque, et il n'est pas besoin de nouveaux matériaux pour fortifier le muscle fatigué ; mais les anciens produits doivent être éliminés, sinon la motricité s'épuise totalement (Ranke).

Influence du sang sur les oxydations et les forces du muscle. — Les oxydations que nous venons d'étudier s'activent pendant les contractions, s'exagèrent pendant la fatigue ; les contractions elles-mêmes ne peuvent avoir lieu pendant la vie que par l'excitation nerveuse, soit qu'elle provienne des centres nerveux, soit qu'elle émane du système nerveux périphérique sous forme directe ou réflexe. Elle s'exerce par le nerf moteur qui jouit d'une irritabilité propre, facile à vérifier et prompte à se perdre par la section du nerf. Mais outre cette excitabilité d'emprunt, le muscle possède une autre excitabilité spéciale et parfaitement distincte, car, tandis que la première se perd ordinairement quatre jours après la destruction du nerf, la seconde peut persister trois mois et plus : c'est ce qui ressort clairement des recherches de Longet. Mais il est un caractère commun aux nerfs comme aux muscles, c'est de ne pouvoir fonctionner que par le sang. Le sang artériel apporte à tous ces organes les matériaux de nutrition ; si on le supprime, soit par la ligature du vaisseau, soit par une compression, soit par une oblitération, toute fonction cesse. Ainsi, chez le chien, si on lie ou si l'on comprime l'aorte, les mouvements du train postérieur s'affaiblissent et ne peuvent plus se manifester qu'après un repos assez prolongé ; les nerfs conservent bien encore quelques heures leur irritabilité, mais l'excitation ne produit plus que des effets peu marqués ; les muscles ne perdent leur irritabilité que plus tard, il suffit même de la présence d'une très-petite quantité de sang pour qu'ils se rétablissent, tandis que les nerfs ne peuvent pas revivre, même si on leur restitue le sang. La sensibilité se paralyse le plus ordinairement après que les mouvements sont affaiblis, et elle disparaît des extrémités vers les centres ; l'inverse a lieu pour les mouvements. Tous ces phénomènes sont manifestement le résultat de l'arrêt de la circulation, ainsi qu'il résulte des expériences de Sténon, Brown-Séquard et surtout des injections pratiquées par Vulpian à l'aide de poudres inertes dans les vaisseaux. Privé de sang artériel, le muscle ne trouve plus d'oxygène pour respirer ; puis, les matériaux pour opérer ses échanges intimes venant à leur tour à manquer, il meurt ; la substance musculaire s'altère ; le fluide coagulable se concrète, en même temps qu'il se développe une réaction acide de tout l'organe ; le contenu des canalicules musculaires se durcit, prend un aspect terne, la fibre ne peut plus se plisser et elle perd son irritabilité ; tout le muscle prend une consistance pâteuse, devient plus court et plus épais ; enfin son courant électrique disparaît ; c'est là la rigidité cadavérique, qu'on considérait autrefois comme une contraction ultime, mais qu'on sait maintenant (Kühne) être le résultat d'une coagulation ultime. Quand un muscle privé de sang oxygéné a perdu son irritabilité et sa texture normale, il peut se rétablir, tant que la coagulation et la rigidité ne sont pas encore entièrement développées. Il suffit d'y faire pénétrer l'oxygène, soit en levant les ligatures artérielles, soit en y injectant du sang artériel ; Brown-Séquard prétend même que ce résultat peut s'obtenir quand déjà la rigidité a commencé, mais Kühne n'a pas réussi.

L'influence du sang sur la musculation est telle, qu'en le supprimant on peut produire une rigidité cadavérique artificielle sur l'animal vivant ; il suffit de lier les artères pour que la roideur partielle se développe dans les muscles privés de sang ; puis, si l'on relâche la ligature, l'irritabilité reparaît, et l'on peut ainsi pendant vingt à cent vingt minutes provoquer la mort et la révivification du muscle. En même temps il se développe dans le muscle rigide un fluide très-acide qui disparaît lorsqu'on rétablit la circulation, tandis que tous les autres muscles restent normaux ; ainsi la rigidité artificielle ne diffère pas dans sa nature, mais seulement dans son mode de production, de la roideur cadavérique chez les mêmes animaux ; l'une et l'autre résultent de la suppression de l'action du sang.

§ 2. — De l'origine et de la transmutation des forces.

Dans l'organisme il y a des forces latentes qui se transforment sans cesse en forces vives ou actives ; les premières sont représentées par l'oxygène absorbé, et d'une autre part par les corps oxydables qui pénètrent dans l'économie sous forme d'aliments. Par la décomposition de ces corps et leur transformation en produits d'oxydation, c'est-à-dire en eau, acide carbonique, ou même en produits moins avancés comme l'urée, les affinités chimiques subissent de profondes modifications qui se traduisent par des déplacements moléculaires, de véritables mouvements intimes ; les forces représentées par ces affinités cessent d'être latentes ; elles se dégagent pour ainsi dire et prennent la forme active. Ces forces vives sont la chaleur, l'électricité et le travail mécanique. Or il est démontré aujourd'hui, depuis le mémorable travail du docteur Mayer, de Heilbronn, qu'elles peuvent toutes se transformer l'une dans l'autre, et cette transmutation est telle qu'il ne se perd aucune force, comme il ne se perd aucun atome dans le monde physique ; cette loi, qui a reçu depuis quelques années de si nombreuses applications en mécanique, se trouve être également vraie et utile dans l'ordre biologique ; Helmholtz et Clausius en Allemagne, Joule en Angleterre, Béclard, Hirn, Regnauld, Verdet, Gavarret, en France, l'ont prouvé d'une façon irréfutable.

Mesure du travail et de la caloricité. — En mécanique on appelle *forces* toutes les causes du mouvement de la matière pondérable. Lorsque une machine à vapeur soulève un fardeau, c'est la force expansive de la vapeur, en d'autres termes, c'est le *calorique* qui est employé à surmonter l'action de la pesanteur ; le calorique constitue donc une force, et à ce titre elle ne peut être évaluée que par ses effets. Ce qu'on

Digitized by Google

appelle la température d'un corps, et ce que nous mesurons avec nos thermomètres, n'indique que la *force calorique* actuellement *libre* dans ce corps; mais le thermomètre ne précise point la quantité de chaleur absolue ; celle-ci varie non-seulement selon l'intensité de la chaleur du corps, mais selon son volume; en combinant ces deux éléments, on peut arriver à une mesure correcte, c'est ce qu'on fait en physique; on appelle unité de chaleur ou calorie, la quantité de chaleur nécessaire à 1 kilog. d'eau à 0, pour élever sa température de 1 degré centigrade.

Voyons maintenant ce qu'est le travail. Lorsqu'une force motrice détermine le mouvement d'un corps, sa vitesse ne dépend pas seulement de l'intensité de cette force, mais de l'espace que parcourt ce corps; c'est ce double produit qui exprime l'action réelle et constitue ce qu'on nomme le travail mécanique; la quantité d'action qu'il faut dépenser pour soulever 1 kilog. à 1 mètre de hauteur, en une seconde, c'est ce qu'on appelle le kilogrammètre.

§ 3. — Sources de la chaleur.

Le corps de tous les êtres vivants constitue une source de chaleur, un foyer continu; si le calorique qui s'y développe sans cesse n'en élève pas indéfiniment la température, c'est parce que les pertes externes de chaleur sont égales aux quantités de chaleur produites intérieurement, et sont d'ailleurs réglées par l'organisme lui-même, de manière que la température de chaque être reste constante à un demi-degré près, malgré les variations de température du milieu ambiant. Cette chaleur interne n'est pas, comme on le croyait autrefois, créée de toutes pièces par la puissance vitale; la vie ne peut créer avec rien aucun des éléments pondérables ou impondérables qui constituent l'être vivant, *nihil ex nihilo*; l'organisme ne peut qu'utiliser les éléments qu'il trouve dans le monde physique, et je me hâte d'ajouter que tout ce qu'il a utilisé de force ou de matière ne peut plus rentrer dans le néant : *nihil in nihilum.*

Pour ce qui est de la chaleur, elle se forme dans tous les organes qui sont le siége d'une oxydation, c'est-à-dire partout, à l'exception des tissus cornés; quand le corps est en repos, ce calorique disparaît par le fonctionnement physiologique; toute la puissance du cœur se transmet à la masse du sang, et se détruit par le frottement du liquide contre les parois des vaisseaux, surtout des capillaires, en développant la vitesse et le travail mécanique. Quand le corps est en mouvement, il se forme et de la chaleur et du travail mécanique, tous deux dans les muscles, qui sont les seuls organes doués d'une véritable motricité. Lorsqu'enfin les contractions musculaires s'appliquent à un travail statique, la chaleur développée est moins forte que par le mouvement proprement dit; c'est ce qui résulte des belles recherches de Béclard sur la transmutation des forces.

Au résumé, l'origine des forces peut se formuler ainsi : toute force active, dans l'organisme, n'est que la résultante des forces préexistant à l'état de tension; toute force active dérive, en fin de compte, soit d'une décomposition chimique de la matière organique, soit des affinités qui se détruisent pendant les oxydations.

Pour maintenir l'équilibre dans l'organisme il faut toujours une certaine somme d'oxydations; elle est indispensable à l'accomplissement des fonctions essentielles de la vie, c'est-à-dire des contractions du cœur, des mouvements respiratoires et de la calorification. A ce minimum de forces correspond le minimum des métamorphoses intimes. Si les forces sont employées en plus comme dans le travail effectif des muscles de la volonté, ou bien encore si la chaleur animale se perd comme dans les climats froids, les oxydations augmentent; il en résulte une formation et une perte plus notable de produits régressifs, entre autres de l'acide carbonique; de là la nécessité d'une réparation plus complète, en d'autres termes, d'un régime plus substantiel ou plus approprié. Tous les aliments peuvent développer ces forces, car il n'en est aucun qui ne puisse se prêter aux transformations; il n'existe pas de principe nutritif exclusivement plastique ni calorigène, et la division classique des substances alimentaires ne saurait trouver ici son application. Il n'en est pas moins vrai que, selon la dépense de forces musculaires, il y a un bilan à établir, une part à faire à chacun des deux genres de régimes.

L'état du système musculaire, au moment de son fonctionnement, influe singulièrement sur la qualité et la quantité de matériaux à exploiter. Depuis longtemps on sait que le muscle n'emprunte pas toute sa force aux nerfs moteurs, mais qu'il peut être considéré comme une sorte de machine avec un ressort tendu, qui ne reçoit du nerf que l'impulsion nécessaire pour entrer en action, et, par conséquent, pour transformer sa force tensive en force vive; celle-ci, une fois mise en jeu, dure tout le temps de la contraction, aussi bien pendant le raccourcissement du muscle que dans la période de rétablissement.

L'excitation nerveuse n'est là que pour déterminer la combustion des matériaux oxydables du muscle, combustion qui mesure, comme nous l'avons dit, la somme des forces libres; mais le degré et l'intensité des oxydations ne dépend qu'en partie de l'action nerveuse.

Le muscle lui-même exerce une influence considérable sur ce résultat; ainsi, toutes conditions nerveuses étant égales, le mouvement de décomposition comprend d'autant plus d'éléments que le muscle est plus tendu au moment de l'excitation nerveuse, et que sa tension augmente pendant le cours de la contraction. De deux muscles égaux et également innervés, celui qui subit pendant la contraction la tension la plus énergique, produira aussi le plus d'acide lactique, de chaleur et de force mécanique. Ainsi, après l'excitation nerveuse, le muscle continue à subir une oxydation qui, par conséquent, dégage de nouvelles forces pendant tout le temps de la contraction. On peut juger ainsi de la part à faire à l'influx nerveux, à l'état physique du muscle, au processus chimique qui s'y opère. Quel que soit, du reste, l'état antérieur des muscles, quel que soit le régime préalable, on peut tenir comme certain que le rapport des divers éléments combustibles qui se combinent avec l'oxygène est toujours le même. Il résulte de là que la chaleur développée à chaque instant dans notre corps est toujours rigoureusement proportionnelle au poids d'oxygène absorbé en un temps donné. Selon l'âge, le sexe, la constitution ou l'état de santé des individus, la quantité d'oxygène absorbée par heure (par conséquent la quantité de chaleur développée) varie d'une personne à l'autre entre 28 et 40 grammes; mais, chez tous, chaque gramme d'oxygène consommé produit à très-peu près 5 calories, c'est-à-dire cinq fois la chaleur nécessaire pour élever d'un degré la température de 1 kilogramme d'eau à zéro; par conséquent, celui qui absorbera 28 grammes d'oxygène produira

Digitized by Google

140 calories; en inspirant 40 grammes, il donne naissance à 200 calories; c'est là ce qui explique en partie le degré de résistance des divers individus, mais ce qui l'explique mieux encore, c'est l'énergie avec laquelle l'organisme retient la chaleur produite et la manière dont il l'utilise.

§ 4. — De la transformation de la chaleur en travail mécanique.

Après avoir défini les sources du calorique, l'unité de chaleur ou calorie, l'unité du travail ou kilogrammètre, nous sommes à même de formuler la théorie mécanique de la chaleur. Si une machine thermique, si compliquée qu'elle soit, produit un certain travail mécanique, c'est aux dépens d'une quantité correspondante de chaleur, en d'autres termes, s'il se produit du travail, il disparaît de la chaleur. De plus, la quantité de chaleur disparue et la quantité correspondante de travail apparu ont entre elles un rapport qui est toujours le même, quelles que soient les conditions dans lesquelles le phénomène se produit; c'est ce rapport constant, unique, qu'on appelle l'*équivalent mécanique* de la chaleur.

Il résulte des expériences les plus variées que l'équivalent mécanique de la chaleur est représenté par le nombre 425, c'est-à-dire, qu'une calorie perdue produit 425 kilogrammètres de travail; il suffit donc, pour savoir le nombre de kilogrammètres de travail produit par la disparition d'un certain nombre de calories, de multiplier ce nombre par 425.

Chaleur produite par le déplacement du corps. — Lorsque nous montons un escalier ou une montagne, les muscles, par leurs contractions, élèvent successivement le centre de gravité du corps, en surmontant la résistance qu'oppose le poids du corps; il y a ici une action évidente, dont le résultat définitif est d'élever la masse du corps, c'est là un travail effectif. Or, toute production de travail suppose une perte de calorique; c'est ce qui a lieu en réalité. Admettons qu'un homme du poids de 75 kilogr. s'élève de 400 mètres par heure, et que, pendant cette ascension, il consomme par la respiration 100 grammes d'oxygène par heure; on sait déjà que chaque gramme d'oxygène fournit 5 calories; 100 grammes d'oxygène doivent produire 500 unités de chaleur; mais, par la mesure directe de la chaleur, on ne trouve en fait que 430 calories; il s'en perd donc 70; c'est précisément ce qu'a coûté le travail de 30 000 kilogrammètres produits.

Supposons maintenant que le même expérimentateur descende de 400 mètres par heure, tout en continuant à absorber 100 grammes d'oxygène par heure; au lieu de 500 calories, on en trouve cette fois 570; c'est ce qu'ont produit 30 000 kilogrammètres de travail *non dépensé;* c'est l'organisme qui en a recueilli le bénéfice. En effet, pendant la marche descendante le corps tend à descendre par son propre poids, en surmontant la résistance musculaire; cette résistance n'est qu'un travail en pure perte, et toute perte de travail tourne en bénéfice de calorique.

Ainsi, dès qu'on fournit un travail externe positif, le gramme d'oxygène absorbé donne moins de 5 calories, chiffre correspondant à l'état de repos; dès qu'on fait un travail négatif, le gramme d'oxygène rend plus de 5 calories. Dans l'un et l'autre cas, la chaleur totale est toujours proportionnée exactement à la valeur totale du travail fourni ou perdu. Le moteur animé est donc soumis aux lois générales de la théorie mécanique de la chaleur.

En voici une nouvelle preuve : « Lorsque nous marchons » sur un sol horizontal, le centre de gravité du corps s'élève » et s'abaisse alternativement de hauteurs égales; il y a donc » production et perte alternatives de travail externe, et il doit » y avoir une dépense et une production alternatives de force » calorique qui se balancent et donnent zéro pour résultat » final. » (Hirn.)

On croit généralement que chacun des modes de locomotion constitue un travail; pour le physicien, il n'y a que la marche ascensionnelle qui forme un travail réel et, par conséquent, coûte du calorique à l'organisme; la marche descendante est, au contraire, un bénéfice de calorique pour l'organisme. Quant au mouvement horizontal, il ne produit aucune perte, aucune augmentation de chaleur.

Toutes ces données ont été vérifiées par l'expérimentation; Hirn a fait construire dans ce but une chambre respiratoire munie de tuyaux où l'air inspiré et l'air expiré sont mesurés, analysés à chaque instant de l'opération; cette chambre contient en outre un calorimètre, et un appareil à palettes sur lesquelles l'expérimentateur peut élever le poids du corps.

Voici maintenant les objections à la première partie de la doctrine : puisqu'il se consomme du calorique dans notre organisme quand nous fournissons un travail externe, comment se fait-il qu'une marche ascensionnelle, loin de rafraîchir le corps, amène, au contraire, rapidement un état de caloricité quelquefois intolérable? Dès que nous commençons à gravir, les battements du cœur s'accélèrent, la respiration s'élève de 18 à 30; le volume d'air inspiré s'accroît de 500 à 2 300 litres; la quantité d'oxygène absorbée, qui est de 30, augmente jusqu'à 130 grammes par heure; or, en supposant même une consommation active du calorique par le travail, il n'en reste pas moins un excès souvent considérable de chaleur. Comment l'expliquer? L'organisme est pourvu d'un véritable régulateur de la température : c'est le système nerveux; c'est lui qui, chez l'homme robuste, habitué à la marche, fait que l'excès de chaleur produite est pour ainsi dire nul; l'homme qui exécute avec intelligence un travail mécanique quelconque ne met en activité que les seuls muscles qui servent à produire ce travail; les appareils respiratoire et circulatoire ne sont que médiocrement excités, tandis que l'homme qui met en jeu des forces ou des muscles inutiles à son but exagère en pure perte l'action des grands systèmes calorifiques et développe ainsi une quantité très-grande de chaleur qui ne sert pas à l'action dynamique. (Hirn.)

Dans tous les cas, les pertes de calorique tendent à devenir égales à la production; dans ce but l'organisme dispose de deux moyens : pour se débarrasser de tout excès de chaleur, il nivelle graduellement sa température avec la température extérieure, quand celle-ci est plus basse que la chaleur animale; mais lorsque cette ressource manque, il s'opère un autre genre de déperdition de calorique; elle est due à la perspiration cutanée et pulmonaire. Ainsi s'explique la disparition de l'excès de chaleur, quel que soit le milieu ambiant; ainsi encore peut-on comprendre pourquoi le travail externe s'accompagne en définitive d'un refroidissement effectif.

Chaleur produite par les mouvements partiels. — Par ses recherches très-ingénieuses, Béclard tend à prouver que quand nous soulevons un poids par la flexion du bras, la température s'abaisse dans tous les muscles qui concourent à cette flexion, et fournissent ce *travail* externe; que les mêmes

Digitized by Google

muscles, au contraire, *s'échauffent* lorsque nous laissons lentement le poids ramener le bras à sa position première; qu'enfin la température reste invariable lorsque le bras se meut horizontalement, c'est-à-dire lorsqu'il n'y a pas de travail externe produit, ni de travail perdu. Pour arriver à ces résultats, Béclard institua plusieurs séries d'expériences dans lesquelles il compare les contractions musculaires suivies d'effet mécanique avec les contractions qu'il appelle statiques, et qui ne se traduisent par aucun travail extérieur. Une de ces expériences les plus probantes consiste à monter avec le bras droit un poids déterminé, en lui faisant parcourir un espace de 16 centimètres, puis à recommencer ainsi pendant cinq minutes, sans avoir à soutenir ce poids pendant la descente; on obtient ainsi une diminution de température de 0,16, par cela même que la montée du poids constitue un travail effectif.

Puis, au lieu d'employer la puissance musculaire du bras à soulever un poids, si l'expérimentateur maintient ce poids en équilibre pendant ce même laps de temps, il ne fait, en réalité, qu'un travail négatif, qui ne doit pas modifier la température primitive, et c'est, en effet, ce qui a lieu. Au contraire, lorsque nous soulevons un poids, nous transformons notre calorique en travail mécanique; nous usons, nous perdons du calorique exactement comme dans l'expérience de Hirn, lorsque nous élevons notre propre corps à une certaine hauteur.

Voici encore un exemple confirmatif. L'individu qui soulève et qui abaisse alternativement un poids perd de la chaleur dans le premier moment, mais la regagne dans la deuxième action; dans le premier cas, il a fait un travail effectif; dans la deuxième phase, un travail négatif; les résultats opposés se compensent.

De nombreuses objections ont été faites aux recherches et aux résultats annoncés par Béclard; en réalité, les différences accusées dans ces diverses expériences sont insignifiantes; ainsi la chaleur enlevée par le travail mécanique positif n'est que de 1 à 2/10 de degré. Béclard a prévu la difficulté et l'a résolue partiellement en invoquant la perte de calorique par les surfaces d'évaporation; mais cela ne suffit pas; si, en effet, les températures ne diffèrent pas dans les deux séries d'expériences, c'est que le travail qui consiste à soulever et à *tenir* soulevé un poids n'est qu'un travail statique; or, par cela même, il est incapable d'user la chaleur, c'est-à-dire de diminuer la température du muscle d'une manière notable, comme la station debout diminuerait la chaleur du corps.

A cette remarque fondamentale, il faut ajouter une autre non moins péremptoire; c'est que la température des muscles augmente en raison directe de leur tension antérieure; cette donnée ressort clairement des recherches de Heidenhain, sur la température considérée dans un muscle isolé.

Chaleur produite par la contraction d'un seul muscle. — Becquerel et Breschet, et surtout Helmholtz avaient déjà prouvé que la contraction d'un muscle en élève la température; mais ils n'avaient fait la part ni du genre de travail utile ou négatif, ni de la tension antérieure du muscle; il appartint à Heidenhain de démontrer que plus les forces tensives étaient développées dans un muscle au moment de sa contraction, plus l'action musculaire produit de chaleur. De deux muscles également innervés, également excités, celui qui est le plus chargé, le plus tendu, est aussi celui qui développe le plus de chaleur. Dans l'état naturel, le muscle est tendu par l'élasticité, force physique incapable de produire ni d'augmenter la chaleur; d'une autre part, par la tonicité musculaire ou tension vitale à laquelle préside le système nerveux. Lorsque cette force constante est augmentée par une nouvelle excitation, c'est alors que la chaleur augmente le plus manifestement, mais la transformation de la tonicité en force active pendant la contraction ne dépend pas uniquement de l'intensité de l'excitation des nerfs moteurs; cette transmutation est bien plutôt déterminée par l'état du muscle, c'est-à-dire par sa tension avant et pendant l'action; en un mot, la somme des forces effectives augmente en proportion de la tension; toutefois, au delà d'une certaine limite, cette loi cesse d'être vraie, car si le muscle est surchargé, son énergie diminue.

Tous les faits concordent avec cette donnée; en supposant une excitation nerveuse toujours la même dans toutes les expériences, voici en effet ce qu'on observe :

1° Si l'on charge les muscles avec des poids de plus en plus considérables, on voit, pendant l'excitation, augmenter à la fois le travail mécanique et la chaleur, celle-ci progressant plus lentement. Mais, au delà d'une certaine surcharge, la chaleur ainsi que le travail tendent à diminuer, et c'est la température qui baisse le plus rapidement;

2° Si, le muscle étant chargé graduellement, on l'*empêche de se raccourcir* pendant l'excitation, le travail est annihilé, mais la *chaleur* produite est considérable; dans ce cas, la tension dépasse de beaucoup pendant le travail ce qu'elle était au début;

3° Si, étant chargé d'un poids déterminé, le muscle se contracte librement, il développera peu de chaleur en se contractant, c'est-à-dire en travaillant; mais il suffit qu'on s'oppose à la contraction du muscle et, par conséquent, qu'on empêche le travail, pour qu'à l'instant même la chaleur augmente. En pareil cas le travail non utilisé s'est transformé en chaleur. C'est donc la confirmation complète de la loi des mutations de forces.

A vrai dire, il importe peu que ce soit la tension ou le calorique qui se transforme en travail mécanique; toujours est-il qu'il y a là un exemple manifeste de la transmutation réciproque des forces vitales et mécaniques. Je me hâte d'ajouter qu'il faut remonter plus loin encore, c'est-à-dire aux forces chimiques; ce sont les affinités moléculaires qui, en se modifiant, produisent la chaleur, et constituent la force initiale.

Résumé. — La chaleur des muscles n'augmente qu'en raison directe de l'état préalable de la tonicité du muscle.

Le travail mécanique effectif utilise avant tout cette tonicité, puis la chaleur développée pendant la contraction.

Les forces soit tensives, soit thermiques, soit mécaniques, ne peuvent se transformer l'une dans l'autre qu'en s'accompagnant d'une modification chimique du muscle.

§ 5. — Chimie de l'organisme pendant le travail musculaire.

Pendant et par la contraction, le muscle subit deux genres d'oxydations : l'une qui est complète, se traduit par une élimination d'acide carbonique en quantité supérieure à celle de l'oxygène absorbé; l'autre genre d'oxydation est imparfait; il se borne à transformer les corps albumineux du muscle en une série de dérivés appelés créatine, acide urique, sarkine, dont aucun n'est aussi oxydé que l'urée. Pendant cette double série de phénomènes, que deviennent les combustions

Digitized by Google

de tout l'organisme? Il était naturel de supposer que les influences locales musculaires retentiraient sur le reste de l'économie, et en effet, à en juger par les combustions respiratoires, on devait conclure à une suractivité générale pendant l'exercice musculaire.

Le travail active la combustion du carbone. — L'absorption d'oxygène est manifestement exagérée par le travail physique. Lavoisier a déjà démontré que la consommation d'oxygène est alors deux fois et demie plus considérable que pendant le repos (63 litres d'oxygène au lieu de 26 par heure). D'une autre part, les produits éliminatoires, surtout l'acide carbonique, augmentent dans des proportions plus marquées encore. Valentin, Scharling, Andral et Gavarret, E. Smith et presque tous les observateurs l'ont vérifié. Mais voici l'école physiologique de Munich, réprésentée par Bischof, Voït et Ranke, qui conteste, sinon le fait, du moins son interprétation. Ce n'est pas *pendant* et par l'exercice que l'émission d'acide carbonique s'accroît; il est impossible, d'après ces physiologistes, d'établir la corrélation de ces deux phénomènes. Pendant le travail, on peut même noter une diminution de l'exhalation gazeuse; mais si l'on observe *une plus longue période*, c'est-à-dire durant le repos qui suit, on constate généralement un accroissement plus ou moins prolongé de l'exosmose carbonique.

Le travail n'active pas sensiblement la combustion des principes azotés. — Par analogie, on a pensé que l'organisme devait participer à *tous* les genres de combustions qui s'opèrent pendant l'exercice des muscles. La métamorphose de la musculine en principes rétrogrades semblait justifier cette manière de voir : on pouvait supposer que cette destruction des composés albuminoïdes se continuerait jusqu'à son dernier terme, c'est-à-dire jusqu'à la formation de l'urée, qui représente la combustion la plus avancée des corps organiques et en constitue, pour ainsi dire, le déchet. Cet excès d'urée, passant dans le sang, devait se retrouver dans les urines. Cette doctrine, qui appartient à Liebig, se formulait ainsi : le travail musculaire use les tissus organiques, ou les substances protéiques de l'économie, et augmente l'émission de l'urée, tandis qu'au repos les éléments se perdent en moindre quantité, et leur transformation ne sert qu'à développer la chaleur. Mais il s'agit avant tout d'établir cette première donnée, puis de démontrer que toute l'urée passe par les urines, et sert ainsi à mesurer le degré de décomposition de la trame organique. Le chimiste Lehman s'est chargé de la vérification expérimentale. « Un homme au repos, dit-il, fournit 32 grammes d'urée par jour, pendant et après le travail 36 à 37 grammes. » D'après d'autres (Beigel, Speck), l'augmentation serait d'un huitième ou même d'un tiers.

Or, toutes ces assertions sont contredites par les recherches plus précises de Roussin, de Draper, de Bischof et Voït, *Louis Lehman* et Ranke. Sur un chien qui, au repos, fournissait 14,2 grammes d'urée, Voït ne vit que 2,6 d'augmentation pendant le travail. Le même chien recevant une ration considérable d'aliments, on constata un excès énorme d'urée, 110 grammes; mais ce chiffre ne monta qu'à 114 pendant le travail forcé. Ainsi, quel que soit le régime, le fonctionnement musculaire n'augmente pas l'urée d'une manière sensible. Louis Lehman, expérimentant sur l'homme, arriva même à nier toute espèce d'augmentation, et Ranke, qui opérait sur lui-même, fut amené aux mêmes conclusions négatives.

La contradiction entre les diverses expériences était flagrante. Les partisans de la doctrine de Liebig ont cru pouvoir atténuer les résultats nouveaux en disant que si l'urée ne se montre pas en excès dans les urines, c'est que l'usure du tissu musculaire ne va pas jusqu'à la formation de l'urée, mais s'arrête aux produits intermédiaires, comme la créatine, qui doit être plus considérable dans l'urine pendant le travail qu'au repos; mais rien de semblable n'a été constaté. D'autres ont dit que si l'urée en excès ne s'élimine pas par les reins, elle passe par une autre voie, entre autre par la peau, en même temps que la sueur; ce n'est là encore qu'une hypothèse à vérifier. Voici une troisième objection. Il y a deux espèces d'urée : celle du sang, qui présente des différences énormes, dépendant uniquement de la quantité d'azote des aliments; la décomposition de la chair musculaire constitue une autre origine de l'urée; celle-ci varie peu en apparence, mais la plus petite variation *relative* doit être prise en considération. Enfin, Meisner a reproché à Voït d'avoir calculé d'après l'urine excrétée en un jour; or, après le travail. « il survient, dit Meisner, une fatigue qui *peut* entraîner la diminution de l'urée. » Mais ce reproche n'est pas fondé, car l'épuisement musculaire ne produit rien de semblable. Toutes ces objections ne détruisent donc en rien la loi formulée par Voït, à savoir *que le travail n'use pas les corps albuminoïdes de l'organisme et n'augmente pas sensiblement l'émission de l'urée.*

Les variations de l'urée n'indiquent que les mutations de tout l'organisme. — Il est certain que la contraction ne saurait se faire sans que le muscle éprouve des modifications qui, toutes, indiquent l'usure de la substance musculaire. C'est cette métamorphose de la musculine qui est l'origine de la force. Les affinités chimiques se transforment en forces vives. Mais les mutations organiques, les oxydations de l'organisme lui-même, à en croire Bischof et Voït, ne sont pas soumises à des conditions qu'on puisse créer à volonté; elles dépendent uniquement de la masse et de la composition des matériaux nutritifs en réserve. Cette première donnée s'appuie sur une preuve directe, car le travail musculaire n'augmente pas régulièrement l'émission de l'urée. On peut s'en convaincre en divisant l'expérimentation par petites périodes; l'analyse des urines démontre alors que les quantités d'urée qui s'éliminent ne sont nullement comparables entre elles.

L'élimination de l'urée n'est donc jamais l'image fidèle des petites oscillations que subissent les mutations organiques : l'urée ne traduit que les grandes métamorphoses; les mouvements intimes ne sont pas en état de produire un résultat uniforme sur la sécrétion de l'urée. A une légère augmentation, d'ailleurs variable de l'urée, succède bientôt une diminution.

Le travail musculaire semble donc n'être qu'un simple effet mécanique résultant de la désagrégation locale qui s'opère dans le muscle. L'organisme est, jusqu'à un certain point, étranger aux effets de ce travail. L'intensité des oxydations *corporelles* déployées durant une longue période est certainement indépendante du travail mécanique fourni pendant ce temps; car, à l'excès des échanges de la phase d'activité, on voit succéder une dépréciation correspondante.

Le muscle se répare facilement. — De tout ce qui précède on est forcé de conclure qu'à de très-courts intervalles, il s'établit dans le muscle une sorte d'opération compensatrice qui fait disparaître les changements de composition produits par l'action musculaire; les métamorphoses augmentent pendant l'exercice, elles diminuent après; or, en considérant attentivement ces transformations, on constate la présence de l'a-

Digitized by Google

cide lactique, de la créatine, et du phosphate de soude; ces substances sont tous des irritants énergiques et des muscles et des nerfs; mais elles n'excitent qu'au début de leur action, et si elles agissent en petite dose; au contraire, en s'accumulant dans les tissus, elles en paralysent, elles en épuisent les propriétés; c'est là la cause de la fatigue, et, par conséquent, de la diminution des oxydations.

Mais ces mêmes substances ne modifient pas définitivement la texture des muscles; il suffit de les éloigner du tissu musculaire par le lavage, ou bien de neutraliser l'acide pour faire disparaître leurs mauvais effets. Sur le vivant elles sont entraînées par le sang et la lymphe, ou bien elles deviennent inoffensives par la neutralisation de l'acide lactique au moyen de la créatinine qui se produit alors en excès; tout ce travail d'épuration a lieu par et pendant le repos. Mais son mode d'action n'est pas encore connu; les produits nouveaux agissent peut-être sur la force électro-motrice des muscles, ou chimiquement sur la myosine en la coagulant, ou bien en soustrayant l'ozone de manière à annihiler les oxydations. Peu importe; ce qui est certain, c'est que la force musculaire disparaît sous leur influence; la fatigue n'est donc que l'accumulation des matériaux; dès qu'ils viennent à être éloignés, le muscle se rétablit.

Ainsi, les forces qui deviennent libres pendant le travail musculaire sont le résultat d'une activité momentanément plus marquée des oxydations ou des décompositions intramusculaires; leurs effets apparents devraient se traduire par une émission plus considérable d'urée ou d'autres produits régressifs; mais ce phénomène est contre-balancé par le procédé compensateur intra-musculaire dont nous venons de parler; — on peut donc dire qu'en général l'étendue des oxydations de l'organisme est due plutôt à la quantité des matériaux disponibles qu'aux influences de l'exercice musculaire.

Quels sont les matériaux réparateurs des muscles? — Si l'organisme dispose d'une provision de matériaux protéiques, le travail s'accomplit dans des conditions qui sont tout d'abord favorables, mais qui finissent par être insuffisantes; nous venons de voir, en effet, que les principes azotés sont ceux qui semblent s'user le moins par la musculation, si du moins on en juge par l'émission de l'urée, qui en pareil cas ne subit aucune augmentation : ce sont les principes carbonés qui se décomposent le plus manifestement, et ce qui le prouve, c'est que la formation et l'exhalation de l'acide carbonique acquièrent une activité incontestable.

S'il en est ainsi, l'organisme en mouvement ressemble de tous points à une machine thermique : le tissu musculaire, c'est le fer du cylindre, qui résiste sans subir d'altération appréciable; de même que l'appareil mécanique, notre système moteur consomne l'oxygène; dans les deux cas la combustion produit les mêmes principes, c'est-à-dire l'eau et l'acide carbonique qui s'éliminent; en même temps il se développe de la chaleur qui se transforme en travail utile; enfin le combustible est le même; le charbon de la machine, c'est le carbone contenu dans la graisse et le sucre de l'économie. Mais d'où proviennent ces matières combustibles?

Elles ne peuvent provenir que des aliments graisseux et hydrocarbonés, ou bien des matières grasses et saccharines qui existent dans les muscles. En admettant la première de ces origines, en considérant le travail musculaire comme s'exerçant uniquement aux dépens des aliments ternaires, on est conduit naturellement à préconiser le régime non azoté (sucre, fécule ou graisse); les substances protéiques, d'après cette manière de voir, restent intactes, ou jouent tout au plus le rôle de ferments destinés à favoriser la décomposition des hydrocarbures; le régime animalisé devient donc accessoire ou même *inutile* au travailleur.

Le danger d'une pareille conclusion nous force à discuter la deuxième hypothèse, celle qui attribue l'acide carbonique exhalé à la décomposition de la graisse et du sucre musculaire. Mais ici encore nous rencontrons de graves objections : il n'existe, en effet, dans nos muscles, que peu de graisse, et à peine des traces de matières saccharines : à ce compte, la source du combustible serait bien vite épuisée et la mécanique animale ne trouverait plus le calorique nécessaire au développement de la force active. D'une autre part, comme la physiologie et la chimie nous enseignent que ces principes sucrés sont uniquement le résultat d'une métamorphose incomplète de la musculine, force est de conclure qu'en dernier ressort c'est le tissu musculaire, substance éminemment azotée, qui fait seule les frais de la contraction, qui seule subit une dépréciation marquée; mais alors l'urée qui représente les déchets des tissus protéiques devrait, pendant l'exercice musculaire, s'éliminer en plus grande quantité que dans l'état normal. Or nous savons maintenant qu'il n'en est rien; les fibres musculaires ne s'usent pas complétement; il semble donc inutile de pourvoir au renouvellement de ce genre d'organes par une alimentation exclusivement azotée, comme le prescrivait la doctrine de Liebig.

Entre les deux hypothèses, voici la vérité probable : la chaleur provient certainement en partie des matières hydrocarbonées, soit alimentaires, soit musculaires, qui se décomposent entièrement de manière à former de l'eau et de l'acide carbonique; mais la chaleur prend aussi source dans le parenchyme musculaire lui-même; celui-ci subit une altération incomplète qui s'arrête aux degrés intermédiaires et dont les produits ne se traduisent pas par l'urée; ce sont des dédoublements de la musculine, ayant pour résultat l'augmentation de la créatinine, de l'acide urique, et, d'une autre part, de l'inosite musculaire. Toutes ces transformations contribuent à développer du calorique; il est donc impossible de négliger la métamorphose des muscles, et il est imprudent de répudier leurs moyens réparateurs, qui ne sont autres que les aliments azotés.

Conclusions. — 1° Le travail musculaire active la respiration pulmonaire et musculaire; il augmente ainsi l'absorption de l'oxygène et l'exhalation de l'acide carbonique;

2° Cependant l'exercice musculaire n'use ni les substances protéiques ni les tissus organiques; car l'urée, qui en représente les déchets, n'éprouve aucune modification quantitative

3° L'urée, en effet, ne varie que par les métamorphoses complètes de l'organisme, et surtout en raison de l'état antérieur de la nutrition;

4° Le travail ne fait subir au muscle lui-même que des transformations temporaires qui s'effacent par et après la fatigue;

5° La contraction développe d'autant plus de chaleur que la tonicité vitale du muscle était plus développée;

6° Ainsi l'état antérieur du muscle et l'état antérieur de l'organisme sont les vrais régulateurs de la force chimique de la chaleur et du travail.

G. SÉE.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE NUMÉRO 39 25 AOUT 1866

Paris, 24 août 1866.

M. Robin a lu à l'Académie des sciences un mémoire de M. Donné sur les générations spontanées. Dans les recherches faites sur cette question on a presque toujours soumis les matières fermentescibles employées à l'action d'une température jugée suffisante pour tuer les germes qu'elles pouvaient contenir : or, n'est-il pas à craindre que cet échauffement considérable ne détruise dans ces matières certaines propriétés vitales essentielles à la manifestation des générations spontanées.

Afin d'éclaircir ce doute, M. Donné institua l'expérience suivante. Il prit des œufs qu'il recouvrit d'une couche de coton pour empêcher les germes répandus dans l'atmosphère de pénétrer à travers l'écaille ; puis avec une tige de fer rougie, il perce cette écaille, de sorte que les matières organiques contenues dans les œufs se trouvent ainsi en libre communication avec l'atmosphère *quoique l'air qui les baigne, tamisé par le coton cardé, ne puisse y apporter aucun germe, ainsi que l'a démontré M. Pasteur*. Des animalcules microscopiques se produisirent presque constamment dans ces conditions, et comme l'œuf ne pouvait contenir de germes, M. Donné en conclut que ces infusoires ont bien pris naissance par génération spontanée. — Loin de soutenir qu'une couche de coton cardé est une protection absolue contre l'action des germes atmosphériques, M. Pasteur fait remarquer qu'il a démontré, au contraire, que l'air tamisé par le coton contenait encore des germes ; en effet si l'on dispose dans un tube vertical plusieurs tampons de coton des hauteurs inégales, le second, le troisième et même le quatrième tampon reçoivent encore des germes, ce qui prouve bien que le premier ne les avait pas arrêtés tous. Du reste, une des expériences instituées par M. Pasteur satisfait aux conditions qu'a voulu remplir M. Donné, à savoir mettre la matière organique en contact avec un air capable d'entretenir la vie sans qu'elle ait préalablement subi d'échauffement capable de modifier ses propriétés vitales. Cette expérience consiste à faire arriver directement du sang de la veine d'un chien dans un ballon rempli d'air chauffé à 100° et privé de germes. Le ballon est ensuite fermé et il ne s'y développe pas d'organismes microscopiques.

Une expérience qui vient d'être faite par M. Janssen à l'usine de la compagnie parisienne d'éclairage par le gaz vient de donner enfin l'explication définitive des bandes et raies telluriques ou atmosphériques du spectre solaires. Un tube de fer de 37 mètres de long, portant deux nœuds aux extrémités, plein de vapeur d'eau à 7 atmosphères, était placé dans une caisse de bois remplie de sciure de bois. Dans ces conditions, malgré la longueur du tube, la pression de la vapeur fournie par la chaudière se maintient parfaitement. La lumière est fournie par une rampe de seize becs de gaz. La lumière du gaz donne un spectre continu ou bien uniforme ; lorsqu'elle a traversé le tube, elle donne au contraire un spectre qui rappelle celui du coucher du soleil ; c'est-à-dire qu'il présente les bandes et raies obscures qu'on remarque dans le spectre solaire dans ces circonstances. Ces bandes furent découvertes par M. Brewster en 1833 ; il les voyait seulement au coucher. Depuis, dit M. Janssen, j'ai démontré : 1° qu'elles sont formées de raies fines comme les raies solaires proprement dites ; 2° qu'elles sont toujours visibles dans le spectre solaire ; 3° qu'elles varient d'intensité suivant la hauteur du soleil ou l'épaisseur atmosphérique traversée ; 4° qu'elles s'évanouissent sur les hautes montagnes ; 5° qu'on peut les reproduire artificiellement en faisant traverser quatre ou cinq lieues d'air à une lumière artificielle quelconque ; 6° que leur intensité dépend aussi de l'état hygrométrique de l'atmosphère. Aujourd'hui, l'expérience directe sur la vapeur d'eau *seule* (le tube était purgé d'air), démontre que les raies atmosphériques ou telluriques du spectre solaire sont dues à la vapeur d'eau dissoute dans l'atmosphère. Je ne dis pas que les autres gaz de l'atmosphère soient absolument sans action, mais jusqu'ici la vapeur d'eau paraît reproduire tout le spectre tellurique. L'origine des raies du spectre solaire est donc double : l'atmosphère céleste, l'atmosphère terrestre. C'est dans le rouge, l'orangé, le jaune, que les raies de la vapeur d'eau sont groupées. Cette vapeur paraît étendre d'une manière *générale* les radiations bleues et violettes ; elle paraît être de couleur orangée, tirant sur le rouge sans grande épaisseur ; si ceci se confirme, la couleur rouge des couches du soleil serait due à la vapeur d'eau de l'atmosphère.

E. A.

Digitized by Google

SOIRÉES SCIENTIFIQUES DE LA SORBONNE.

CONFÉRENCE DE M. A. LAUSSEDAT.

Des éclipses de soleil.

I

INTRODUCTION. — ESQUISSE HISTORIQUE.

Je ne crois pas qu'il y ait de sujet plus attachant que celui dont j'ai à vous entretenir, mais je crains tant de ne pas savoir en faire ressortir tout l'intérêt, que mon premier soin doit être de réclamer votre indulgence.

J'ai été témoin d'une éclipse totale de soleil, et c'est sans doute à cette circonstance que je dois l'honneur que m'a fait le comité des conférences en m'appelant à prendre la parole devant un auditoire qui a le droit de se montrer exigeant, après tout ce qu'il a entendu si bien dire à cette même place.

Ce que je puis vous promettre, c'est de faire tout ce qui dépendra de moi pour vous laisser en définitive une opinion avantageuse... des éclipses. Cela n'est guère facile, comme vous l'allez voir, quand on cherche à faire l'histoire de ces phénomènes ou plutôt celle de leurs observateurs, depuis l'antiquité jusque dans des temps très-modernes.

Dans son second entretien sur la *Pluralité des mondes*, Fontenelle, après avoir raconté à la belle marquise son interlocutrice, quelques-unes des idées extravagantes auxquelles les éclipses avaient donné naissance, ajoutait cette réflexion :

« Et nous-mêmes, n'eûmes-nous pas une belle peur, il y a trente-deux ans, à une certaine éclipse qui, à la vérité, fut totale? (il s'agissait de l'éclipse de 1654), une infinité de gens ne se tinrent-ils pas enfermés dans les caves, et les philosophes qui écrivirent pour nous rassurer n'écrivirent-ils pas en vain? Ceux qui s'étaient réfugiés dans les caves en sortirent-ils!

« En vérité, objecta la marquise, tout cela est trop honteux pour les hommes; il devrait y avoir un arrêt du genre humain qui défendît qu'on parlât jamais d'éclipses, de peur que l'on ne conserve la mémoire des sottises qui ont été faites ou dites sur ce chapitre-là.

« Il faudrait donc, répartit Fontenelle, que le même arrêt abolît la mémoire de toutes choses, défendît qu'on parlât jamais de rien, car je ne sache rien au monde qui ne soit le monument de quelque sottise des hommes. »

Je ne veux pas contredire Fontenelle; cependant j'incline à croire, pour l'honneur de l'humanité, que peu d'objets ont produit autant d'imaginations ridicules que les éclipses; vous allez bientôt pouvoir en juger, car je ne suis pas de l'avis de la marquise, et je crois que la vérité, si dure qu'elle soit, est toujours bonne à connaître. Je déclare d'ailleurs que, pour ma part, j'absous d'avance les populations ignorantes et à demi-sauvages qui ont pu se laisser effrayer par la vue de phénomènes étranges et si hors de leur portée, mais je serai moins indulgent pour les sociétés déjà civilisées qui, sous quelque prétexte que ce soit, ont persécuté les hommes supérieurs dont les efforts devaient, en fin de compte, nous délivrer de la superstition, ce dernier et honteux vestige de la barbarie.

Aujourd'hui que nous trouvons dans l'almanach l'indication précise des éclipses de lune et de soleil, il nous est bien facile d'être rassurés, et nous sourions volontiers au récit des terreurs aveugles occasionnées par les éclipses.

Peut-être ne songeons-nous pas assez que cette sécurité nous vient de la connaissance exacte des lois du mouvement des astres, et que, par conséquent, nous la devons, comme tant d'autres bienfaits, à la science et aux grands hommes qui l'ont créée à travers mille obstacles.

Remontons au temps où il n'y avait pas d'almanach. Prenons l'homme à l'état de nature. De toutes parts des spectacles effrayants frappent son imagination. Le sol qu'il foule, l'atmosphère qui l'environne produisent presque incessamment des phénomènes inquiétants ou véritablement dangereux pour son existence. Les tremblements de terre, les éruptions volcaniques, les inondations, la foudre, les ouragans sont autant de désordres apparents, avec lesquels la régularité habituelle des phénomènes astronomiques forme un contraste frappant. Les alternatives des jours et des nuits, le retour périodique des phases de la lune, celui des saisons disaient à l'intelligence humaine qu'un ordre admirable préside au mouvement des astres. C'est là qu'elle a puisé la première idée d'une puissance suprême, bienfaisante et conservatrice. C'est de là que la région des astres, comme la demeure des dieux, s'est appelée le *ciel*.

Comment, dès lors, des hommes sans culture intellectuelle n'auraient-ils pas été épouvantés en voyant ce bel ordre troublé, en voyant tout à coup s'affaiblir et même disparaître l'astre du jour ou le disque entier de la lune, à l'époque précisément où il répand ordinairement le plus de lumière?

La tradition la plus commune était qu'un dragon céleste, un dragon noir, quelque chose comme le génie du mal, l'*ange des ténèbres*, se jetait sur ces astres amis des hommes, pour les dévorer ou les anéantir. Cette tradition subsiste de nos jours dans des contrées immenses, en Asie, en Afrique et même jusqu'en Europe.

Il y a naturellement des variantes suivant les climats, les idées religieuses, le génie de chaque peuple; mais le moyen employé pour délivrer l'astre en danger est à peu près le même pour tous pays. En Grèce comme en Chine, au Pérou comme sur les rives du Niger ou au pied de l'Atlas, on organise un charivari dans l'espoir d'effrayer l'ennemi et de lui faire lâcher prise.

Dans l'Inde, où l'on a eu pendant longtemps sur les astres, sur leurs distances, sur les phases de la lune, etc., les idées les plus bizarres, j'allais dire les plus poétiques,

Digitized by Google

les populations avaient et ont peut-être encore une manière à elles de conjurer le danger.

Pendant la durée des éclipses, « vous voyez, dit Fontenelle, les rivières couvertes de têtes d'Indiens qui se sont mis dans l'eau jusqu'au cou, parce que c'est une situation très-dévote selon eux, et très-propre à obtenir du soleil et de la lune qu'ils se défendent bien contre le dragon. »

Il faut ajouter toutefois que les castes supérieures et sacerdotales paraissent avoir eu des notions positives sur la cause des éclipses dont elles connaissaient la périodicité; mais elles laissaient volontairement les castes inférieures dans l'ignorance.

En Chine, dans le Céleste empire, l'astronomie servant au gouvernement des hommes, était le premier des arts, et ceux qui la cultivaient occupaient un rang élevé dans l'État. Ils formaient un collége ou un *tribunal de mathématiques* que l'on pourrait, sous certains rapports, assimiler à notre *bureau des longitudes*, car il était chargé comme celui-ci de rédiger l'almanach et de le présenter chaque année à l'empereur dans une audience solennelle.

Les éclipses de soleil donnaient lieu à des fêtes publiques préservatrices; il fallait donc qu'elles fussent exactement annoncées. Malheur aux astronomes qui avaient négligé ou qui n'avaient pas eu le talent de les prédire ! Ils étaient coupables du crime de lèse-majesté, et comme tels condamnés à mort. Évidemment le fils du ciel ne devait pas ignorer ce qui se passait dans le royaume de son père.

Quand les éclipses prédites étaient plus petites ou plus grandes que le calcul ne l'avait indiqué, le cas eût peut-être pu devenir grave et tout au moins eût-il été à craindre que la considération du tribunal n'en fût ébranlée. Mais les savants chinois étaient courtisans, ils n'ignoraient pas que les princes sont généralement accessibles à la flatterie, quelques-uns même à la peur, et pour corriger leurs erreurs de calcul, ils déclaraient, quand l'éclipse paraissait trop petite, que c'était à la vertu du prince qu'il fallait l'attribuer; quand elle était trop grande, au contraire, c'était sa faute, ils lui conseillaient de faire son examen de conscience et de résister à ses mauvaises inclinations.

Là encore, bien que la cause des éclipses fût connue des lettrés, la tradition du dragon céleste n'en était pas moins conservée pour le menu peuple, et la fête des éclipses avait lieu avec accompagnement de tams-tams, de cymbales et de cris assourdissants, un peu, il faut bien l'avouer, comme nos propres réjouissances publiques, où tout ce tapage n'a pas même pour excuse la délivrance du soleil ou de la lune.

L'opinion générale chez les peuples demi-sauvages et chez ceux qui se croyaient le plus civilisés était, au demeurant, que les éclipses pouvaient produire de grandes calamités. Ceux qui étaient en état de les prédire avaient, dès lors, un immense crédit dont malheureusement ils abusèrent. On ne peut guère douter, en effet, que ce ne soit là l'origine de l'une des plus dangereuses aberrations de l'esprit humain, la croyance à l'astrologie, dont l'antiquité, le moyen âge et les derniers siècles eux-mêmes ont été infestés.

Les astrologues ne se bornaient pas, vous le savez, à prédire les phénomènes célestes; ils prétendaient savoir découvrir dans le ciel les destinées des hommes et des empires. Ce coupable charlatanisme ne pouvait avoir et n'a eu que des effets funestes; mais l'erreur qu'il entretenait a heureusement disparu partout où le flambeau de la science moderne a pu pénétrer. Il est vrai que si nous n'avons plus d'astrologues, il nous reste encore les météorologues, mais ces derniers sont si peu à craindre que je ne proposerai pas même de leur appliquer la loi indienne qui condamnait au silence celui qui s'était trompé trois fois.

Si, de la phase anecdotique de notre sujet, nous passons à la phase historique, il convient de rappeler tout d'abord, pour excuser la longueur de ce préambule, que l'histoire des éclipses comprend à très-peu près celle de l'astronomie ancienne tout entière.

Les recueils d'observations faites par les Chinois ne nous sont pas tous parvenus, et il est d'ailleurs remarquable que leurs auteurs, arrivés à un certain degré d'habileté, on pourrait dire mécanique, ne paraissent pas s'être préoccupés beaucoup de théorie, après une longue et patiente contemplation des phénomènes célestes. Ceux de ces recueils qui ont été rapportés en Europe par les missionnaires et les voyageurs ont donné lieu à des travaux d'érudition utiles surtout à la chronologie.

On doit aux Chaldéens, ces prêtres astrologues de Babylone, la découverte de périodes mises à profit par les astronomes grecs et demeurés célèbres. L'une d'elles, connue sous le nom de *saros chaldéen*, servait précisément à prédire le retour des éclipses de même grandeur qui se produisaient dans un ordre déterminé. Nous aurons bientôt l'occasion d'y revenir.

Les prêtres égyptiens, comme les Chaldéens, devaient en grande partie leur autorité aux connaissances astronomiques qu'ils avaient acquises, et dont ils savaient faire un utile emploi; l'exacte orientation des pyramides, l'adoption d'un calendrier solaire, la prévision des débordements périodiques du Nil en sont autant de preuves; mais leur principal titre à la reconnaissance des nations civilisées est d'avoir été les initiateurs des philosophes et des astronomes grecs. Il était réservé à ces derniers de fonder l'astronomie rationnelle.

Laissons l'éclipse que Thalès aurait prédite vers l'an 600 avant Jésus-Christ (cette éclipse, rapportée par Hérodote comme ayant mis fin à la guerre entre les Mèdes et les Perses, et dont la date a été fixée par M. Airy à l'an 585 avant Jésus-Christ). Il paraît peu vraisemblable, dans tous les cas, que Thalès ait connu la véritable explication des éclipses, si Anaximène et Anaximandre, ses disciples et successeurs l'ont ignorée. Le premier

Digitized by Google

croyait, par exemple, que ces phénomènes étaient dus à un embarras des deux astres sur la ligne des nœuds de leurs orbites (et je ferai remarquer en passant, que ce pourrait bien être là l'origine de l'expression de *nœud* employée pour désigner ce qui n'est qu'un simple croisement, une rencontre des orbites apparentes de la lune et du soleil).

Plutarque pense, et nous pouvons sans inconvénient nous ranger à son avis, qu'Anaxagore, qui vint après eux, est celui qui a pénétré le premier la cause des éclipses. Au lieu du mot *éclipse*, qui veut dire *défaillance*, *évanouissement*, et qui se rapporte aux croyances populaires, Anaxagore employait, en effet, pour désigner le phénomène, le mot qui signifie *ombres*, évidemment beaucoup plus scientifique.

Je ne dois pas omettre, en parlant de ce philosophe, d'ajouter que la hardiesse de ses idées le fit accuser d'impiété et que l'arrêt de proscription dont on le frappa, lui et ses enfants, ne fut adouci qu'à la prière de Périclès, à qui il avait eu l'occasion de prédire une éclipse. Il fut néanmoins envoyé en exil, convaincu de sacrilége pour avoir expliqué *par des causes naturelles l'effet de la puissance des dieux*, convaincu en outre de trahison envers sa patrie; il avait osé avancer cette énormité que le *soleil pourrait bien être plus grand que le Péloponèse!*

Voilà où en étaient les Grecs, en fait d'astronomie, au siècle de Périclès! voilà à quels excès la superstition et l'ignorance ont pu porter le peuple le plus policé et le plus intelligent de l'antiquité!

Avant que l'observation des phénomènes eût fourni des bases suffisantes à la théorie, les pythagoriciens avaient, par une intuition merveilleuse, jeté dans le monde cette idée que les planètes circulaient autour du soleil, idée qui devait germer vingt siècles plus tard dans le cerveau de Copernic.

L'école sévère de Platon, et particulièrement Aristote, dont l'autorité scientifique a été si grande et si durable, n'admirent pas une hypothèse fondée, en effet, alors simplement sur cet argument peu philosophique que le soleil ou le feu devait avoir une place plus honorable que des corps obscurs.

Il y eut cependant, dans l'école d'Alexandrie, un astronome ingénieux, Aristarque de Samos, qui tenta de démontrer le mouvement de la terre par des considérations géométriques; mais, comme Anaxagore, il fut aussitôt taxé d'impiété; *sa doctrine*, disait-on, *troublait le repos des dieux*.

C'est dans cette école d'Alexandrie que le plus grand astronome de l'antiquité, Hipparque, jeta les véritables fondements de la science par des travaux admirables qui nous ont été heureusement conservés par Ptolémée.

Pour ne pas sortir de mon sujet, je dirai seulement que l'on doit à Hipparque l'idée de faire servir l'observation des éclipses de lune à la détermination des longitudes terrestres. Ainsi, ce qui n'avait été jusqu'alors qu'une cause d'effroi devenait une ressource précieuse pour la connaissance du globe.

Les Romains ont beaucoup moins fait pour les sciences que les Grecs; la Grèce, en leur imposant ses croyances, leur inspira l'amour des lettres et leur donna aussi, mais à un degré beaucoup moindre, le goût des arts et celui des sciences. Tandis que quelques hommes dont les noms sont à peine connus, comme Sulpitius Gallus, ou d'autres qui ont laissé un nom méprisable, comme l'empereur Claude, l'époux infortuné de Messaline et d'Agrippine, savaient prédire les éclipses (Sulpitius Gallus en avait annoncé une à Paul-Émile), les astrologues, Chaldéens et autres pullulaient à Rome, et tous les poëtes latins répétaient à l'envi des fables qui portent l'empreinte de l'imagination des Hellènes. Voici par exemple celle qui se rapporte aux éclipses de lune et que l'on retrouve partout, dans Virgile comme dans Ovide, dans Sénèque comme dans Tibulle.

Les éclipses ou les défaillances de la lune étaient dues aux enchantements des magiciennes. Celles de Thessalie particulièrement se servaient d'un rhombe d'airain animé d'un mouvement de fronde, pour forcer l'astre des nuits à descendre sur la terre, et à répandre sur les herbes une écume, une sorte de rosée vénéneuse dont les magiciennes avaient besoin pour composer leurs philtres et leurs poisons. La lune résistait vaillamment, mais elle eût été vaincue par les incantations des magiciennes, si les populations, témoins du danger qu'elle courait, ne l'eussent soutenue en faisant un grand bruit pour l'empêcher d'entendre les vibrations du rhombe d'airain. Tout cela, qu'on me permette de le dire avec le respect que je professe pour les poëtes latins, peut se traduire par le seul mot de charivari dont nous nous sommes servi par anticipation, en signalant cette pratique presque universelle.

Je n'entreprendrai pas de vous rappeler tous les faits historiques qui ont concordé ou que l'on a voulu faire concorder avec l'arrivée des éclipses. La liste en est trop longue et je crois que vous y trouveriez peu d'intérêt. Vous savez encore que certaines éclipses ont été d'une grande utilité pour ceux qui en étaient prévenus, soit à la guerre, soit dans les voyages, et l'histoire de Christophe Colomb, entre autres, est présente à toutes les mémoires.

Je ne prétends pas davantage vous apprendre comment les ouvrages des Grecs, apportés pour la plupart en Europe par les Arabes, ont été d'abord acceptés comme le dépôt de la science universelle, comment plus tard s'est réveillé l'esprit d'examen et comment enfin la science moderne a pris naissance.

En ce qui concerne l'astronomie, l'histoire en a été faite par Bailly, par Delambre, par Laplace, et Arago a écrit la vie des plus célèbres astronomes. Tout récemment enfin, M. Bertrand a donné, dans une brochure intitulée : *Les fondateurs de l'astronomie moderne*, une série de notices que je vous conseillerais de lire, si vous

Digitized by Google

ne l'aviez déjà fait, pour y prendre le double plaisir de vous instruire et de faire une lecture attachante.

Faut-il ajouter qu'à l'époque même où Copernic publiait son immortel ouvrage *Des révolutions célestes*, l'astrologue Nostradamus jouissait du plus grand crédit à la cour de France, auprès de Catherine de Médicis et de Charles IX, et qu'après les découvertes de Képler et de Galilée, le cardinal de Richelieu lui-même, que son ombre me pardonne cette indiscrétion ! (1), croyait aux pronostics et suivait les avis de Morin, médecin et astrologue comme Nostradamus (2).

C'est presque à la même époque, au commencement du règne de Louis XIV, que les habitants de Paris descendirent dans leurs caves, à l'occasion d'une éclipse totale de soleil, ainsi que nous l'a appris Fontenelle ; mais ce qui est plus fort, c'est que, au dire des historiens du temps, des personnages considérables s'enfermèrent, *par ordonnance du médecin*, dans des chambres bien closes, bien chauffées, bien parfumées, afin d'échapper aux mauvaises influences de l'éclipse.

Arago rapporte encore, d'après le savant médecin Petit « que les ecclésiastiques, tant la consternation était grande, ne pouvaient suffire à confesser tous les effrayés, ce qui, par parenthèse, contraignit le curé d'un village voisin de Paris, de dire au prône que l'éclipse avait été remise à quinzaine et qu'on pouvait, en toute assurance, ne pas tant se presser. »

Voilà où l'on en était, il y a deux siècles, à Paris, au cœur de la civilisation.

Un siècle plus tard, en 1764, il y eut une éclipse *annulaire*, visible à Paris, très-exactement annoncée par les astronomes et pour laquelle la célèbre madame Lepaute avait publié une carte qui en indiquait toutes les circonstances. Cette éclipse devant avoir lieu le 1er avril, la *Gazette de France* du 19 mars publia l'article suivant envoyé par un curé de province : « On craint que l'office du matin qui doit se célébrer dans les différentes paroisses, le dimanche 1er avril prochain, ne soit troublé par la frayeur et la curiosité que peut exciter parmi le peuple l'*éclipse annulaire* du soleil ; on a cru qu'il ne serait pas inutile de publier l'avis suivant : les curés, tant des villes que de la campagne, sont invités à commencer plus tôt qu'à l'ordinaire l'office du quatrième dimanche du carême, à cause de l'*éclipse totale* du soleil, *qui ramènera les ténèbres de la nuit*. Ils sont priés en même temps d'avertir le peuple que les éclipses n'ont sur nous aucune influence, ni morale ni physique, qu'elles ne présagent et ne produisent ni stérilité, ni contagion, ni guerre, ni accident funeste, et que ce sont les suites nécessaires du mouvement des corps célestes, aussi naturelles que le lever ou le coucher du soleil et de la lune. »

Assurément, l'intention était louable, mais l'excellent curé, un peu moins bien renseigné qu'il ne s'efforçait de le paraître, avait commis une assez grosse erreur en confondant une éclipse annulaire avec une éclipse totale, et en annonçant fort mal à propos qu'elle ramènerait les ténèbres de la nuit.

L'Académie des sciences s'émut de cette confusion et fit publier un contre-avis ; mais vains efforts, l'effet était produit, l'heure de l'office fut changé en beaucoup de lieux, le temps resta couvert, ce qui empêcha qu'on pût même constater l'existence de l'éclipse ; on ne s'aperçut pas le moins du monde qu'il fît nuit, et le peuple se moqua naturellement des astronomes.

Je ne connais plus rien d'important à la charge des éclipses, et il est bien temps d'ajouter qu'elles n'ont pas seulement provoqué de vaines terreurs. Leur explication et leur prédiction font le plus grand honneur à la sagacité des anciens astronomes qui ont rendu de cette manière un immense service à l'humanité. Quand on connut mieux la cause de ces phénomènes, le fait de leur prédiction a frappé beaucoup d'esprits et déterminé des vocations. Ainsi, pour ne citer qu'un exemple, celle de Tycho-Brahé, le plus habile observateur qui ait existé, avant l'invention des télescopes, lui fut révélée à l'âge de quatorze ans, à l'occasion d'une éclipse de soleil qui arriva en 1560 et dont les phases concordèrent exactement avec l'annonce qui en avait été faite.

Telle est l'esquisse historique dont j'ai cru devoir faire précéder l'explication des phénomènes désignés sous le nom d'éclipses. Vous reconnaîtrez que toute simple que soit désormais cette explication, elle a mis bien du temps à paraître telle et à devenir populaire, et il me semble que l'on trouverait là au besoin une preuve frappante de l'utile influence que peut exercer dans tous les temps la diffusion de notions scientifiques saines et exactes.

Ma tâche est désormais bien facile et bien modeste et ce n'est pas à cet entretien que peut s'appliquer la réflexion précédente, car personne n'ignore aujourd'hui ce que c'est qu'une éclipse et je suis bien persuadé que totale ou annulaire, aucune éclipse n'aurait le pouvoir d'effrayer nos contemporains au point de les faire descendre dans leurs caves.

Maintenant, je vous prie de vouloir bien m'excuser si je vous répète beaucoup de choses que vous savez déjà. Je m'efforcerai de passer aussi rapidement que possible sur des notions élémentaires qui sont toutefois indispensables pour permettre l'enchaînement logique des faits que j'ai à vous exposer.

(1) Richelieu est enterré à la Sorbonne dont il a été, comme chacun sait, le protecteur.

(2) Morin devait sa réputation à la bonne fortune qu'il avait eue de prédire que Louis XIII malade, guérirait, tandis que plusieurs autres astrologues avaient eu la maladresse de prédire la mort de ce prince. Ces derniers furent envoyés aux galères, comme de juste, et Morin devint le favori du cardinal-ministre.

Digitized by Google

II

EXPLICATION DU PHÉNOMÈNE GÉNÉRAL DES ÉCLIPSES.

Imaginez un spectateur placé au centre de la coupole du panorama des Champs-Élysées, et, entre lui et la toile ou le tableau proprement dit, des objets tels que ceux dont le colonel Langlois se sert pour augmenter l'illusion.

Pour voir le panorama qui l'environne de toute part, le spectateur tourne sur place, mais supposez qu'il ne bouge pas et que la toile et tous les objets intérieurs tournent autour de lui tout d'une pièce, le même effet sera produit.

La terre semble ainsi placée au milieu d'une immense coupole ou de ce que nous prenons, à première vue, pour une coupole, *la sphère céleste*; elle tourne sur elle-même et nous permet ainsi de découvrir successivement des régions que nous n'apercevions pas d'abord. Nous tournons avec elle et cependant nous nous imaginons que c'est le tableau qui tourne.

Ce tableau n'existe pas ou plutôt il n'existe qu'au fond de notre œil, sur la rétine, mais l'effet est le même. C'est celui de la chambre obscure, celui de toute perspective naturelle. Conservons-lui le nom de sphère céleste.

Supposez actuellement que le spectateur quitte la première place qu'il avait choisie sur la plate-forme centrale de la coupole et qu'il fasse le tour de cette plate-forme que tout le monde connaît bien; les objets placés par le colonel Langlois en premier plan, vont se projeter différemment sur la toile et les uns sur les autres. Le même effet se produirait si, restant à la même place, on déplaçait ces objets comme cela se fait réellement sur la scène d'un théâtre.

Il y a ainsi entre les étoiles et la terre des objets dont l'un doit être considéré comme fixe, c'est le soleil (qu'il faut se représenter au centre même de la coupole), et d'autres réellement mobiles, la lune et les planètes; mais comme la terre se déplace à l'instar du spectateur qui fait le tour de la plate-forme du panorama, et que nous n'en avons pas conscience, nous croyons que le soleil lui-même se déplace sur la sphère des étoiles; nous lui transportons tout le mouvement de la terre, de même que portés par un bateau qui monte ou descend une rivière, nous transportons involontairement au rirage le mouvement de notre embarcation. Pour les planètes, il y a la complication du mouvement réel dont elles sont animées et du mouvement apparent qui résulte du déplacement de la terre. C'est le cas de personnages en mouvement sur la rive du fleuve sur lequel notre bateau nous emporte.

Ainsi deux espèces d'illusions naissent du double mouvement de la terre autour de son axe et autour du soleil.

Dégageons-nous de la première qui se traduit par le mouvement journalier de la sphère céleste prise en bloc, c'est-à-dire par le mouvement général des astres d'orient en occident, et par les phénomènes du lever et du coucher du soleil, de la lune et des étoiles. Laissons seulement au soleil son déplacement apparent sur la sphère céleste et suivons-le ainsi que la lune, à travers les constellations, les figures formées par les étoiles. Celles de ces constellations que le soleil et la lune parcourent sont disposées sur une ceinture, une zone peu étendue dans laquelle nous voyons aussi les planètes et que l'on nomme le *zodiaque*.

Pour mieux fixer les idées, revenons sur la plate-forme centrale du panorama, plaçons au centre même une vive lumière qui représentera le soleil. Si nous tournons sur la périphérie de la plate-forme en regardant toujours cette lumière, nous la projetterons successivement sur les différentes scènes du tableau, et si nous achevons le circuit, nous aurons successivement projeté la lumière sur la circonférence entière de la coupole. Telle est l'idée la plus simple que l'on puisse se faire du mouvement apparent du soleil à travers les constellations qui répondent elles-mêmes aux scènes variées, aux accidents du paysage dont est formé le fond du tableau. Prenez actuellement à la main une bougie, une lumière moins éclatante, et, en restant à peu près à la même place sur la périphérie de la plate-forme, ou plutôt en la parcourant lentement, faites tourner cette bougie tout autour de votre tête; n'allez-vous pas de même la projeter successivement sur la circonférence de la coupole. Cette bougie, c'est la lune qui tourne ainsi effectivement autour de la terre, en accomplissant sa révolution beaucoup plus vite que la terre n'effectue la sienne autour du soleil.

Pour compléter l'analogie, vous pouvez remarquer que la vive lumière placée au centre et fournie, si vous voulez, par une lampe électrique, vous empêche de voir le tableau placé derrière elle, ce que n'empêche pas la lumière plus faible de la bougie tenue à la main. Enfin, si vous concevez que les deux luminaires projetés sur le tableau y laissent deux traces, deux traînées un peu différentes et légèrement inclinées l'une sur l'autre, vous aurez une idée de ce que les astronomes désignent sous les noms d'orbites apparentes du soleil et de la lune. La première se nomme spécialement l'*écliptique* pour une raison que nous dirons bientôt. Ces deux traces, ces deux chemins, invisibles toutefois, se coupent en deux points diamétralement opposés qu'on appelle les *nœuds* de l'orbite de la lune.

Jusqu'à présent nous ne connaissons que ces *orbites apparentes*, et je vous prie de remarquer que le rayon de la sphère céleste n'ayant aucune dimension assignable, cette sphère étant elle-même un tableau idéal, une pure conception de l'esprit, fondée sur les apparences et sans réalité matérielle, nous n'avons, en aucune façon, préjugé les dimensions ou les distances du soleil et de la lune.

Digitized by Google

Ces deux globes ou les deux disques sous la forme desquels ils nous apparaissent sont sensiblement égaux; mais c'est encore là une simple illusion, un effet de perspective.

Des mesures dont le principe est assez facile à saisir, mais que je n'entreprendrai pas d'exposer ici, ont appris aux astronomes que la lune était en moyenne à une distance de la terre égale à 60 fois le rayon terrestre, tandis que le soleil est 400 fois plus éloigné, c'est-à-dire à 24 000 fois la longueur du rayon terrestre qui a près de 1600 lieues kilométriques, ou enfin à 38 millions de lieues de la terre.

Retenez plutôt ces nombres simples et qui nous permettront des comparaisons faciles, de 60 rayons terrestres pour la distance de la lune à la terre et de 400 fois le rayon de l'orbite de la lune pour la distance de la terre au soleil.

D'après les premiers éléments de la géométrie, l'égalité des diamètres apparents de la lune et du soleil signifie alors que le diamètre du soleil est égal à 400 fois celui de la lune, et une mesure angulaire très-facile de l'un ou de l'autre de ces diamètres nous apprendrait finalement que le diamètre de la lune est un peu plus du quart de celui de la terre et que, par conséquent, celui du soleil est lui-même un peu plus de 100 fois celui de la terre. Le nombre exact est plus rapproché de 110, c'est-à-dire que le rayon du globe du soleil est presque le double de la distance de la terre à la lune, et, si pour faire image, on supposait que le centre du soleil fût amené en coïncidence avec celui de la terre, alors le soleil engloberait la lune, en s'étendant presque autant par delà cet astre.

Ces préliminaires posés, voyons ce que vont produire le mouvement de la terre autour du soleil et celui de la lune autour de la terre.

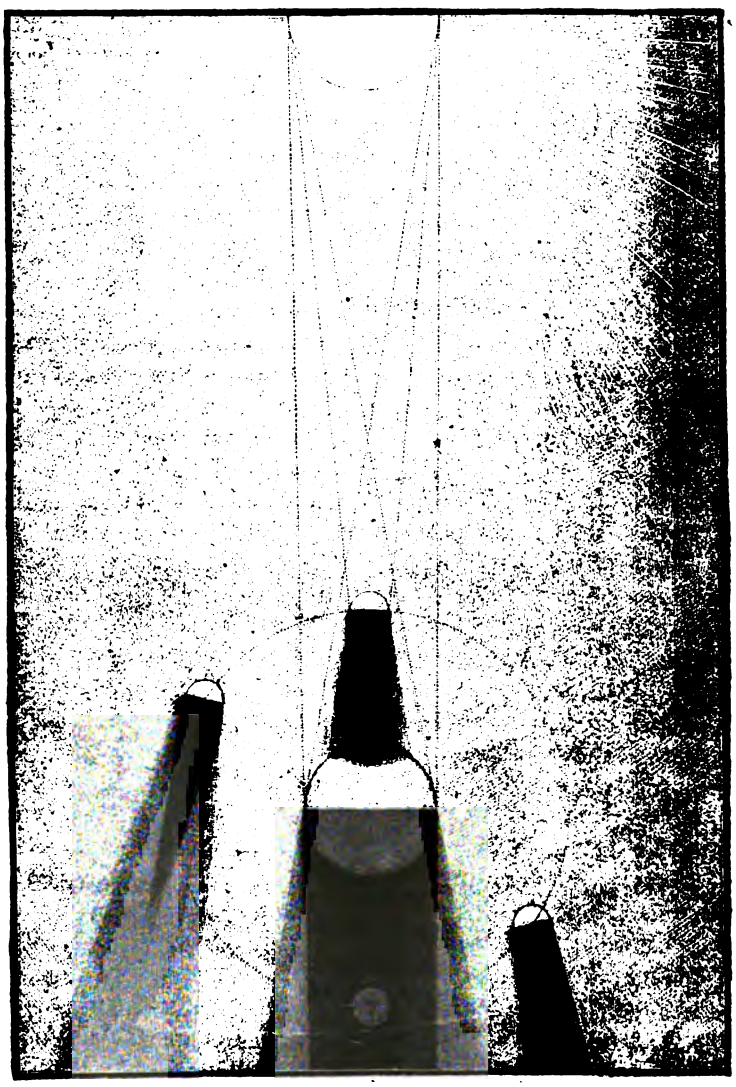


Fig. 286. — Théorie générale des éclipses (d'après *le Ciel* de M. Guillmin).

Nous savons que la révolution de la terre autour du soleil s'effectue dans une année et, dans cet intervalle de temps, le soleil nous semble parcourir la circonférence entière du zodiaque.

La révolution de la lune autour de la terre s'effectue beaucoup plus rapidement, dans un mois environ. Or, il est facile de voir que le soleil, la terre et la lune doivent se retrouver à peu près en ligne droite deux fois, à chaque révolution de la lune.

La première fois, la lune est placée, par exemple, entre le soleil et la terre; il y a alors *conjonction* ou *nouvelle lune;* la seconde fois, la terre se trouve entre le soleil et la lune; il y a dans ce cas, *opposition* ou *pleine lune.*

Partons d'une conjonction et suivons la lune dans son mouvement autour de la terre (fig. 286); après une révolution accomplie dans son orbite, celle-ci reviendrait en conjonction avec le soleil, si la terre et le soleil étaient immobiles; mais la terre s'étant déplacée pendant ce temps, nous projetons le soleil en un autre point du zodiaque, et la lune doit continuer à s'avancer sur son orbite apparente pour revenir à la conjonction.

Pour bien comprendre ceci, il faut savoir d'ailleurs que le déplacement du soleil dans le zodiaque s'effectue dans le sens de l'ouest à l'est, et qu'il en est de même du déplacement beaucoup plus rapide de la lune.

Le temps que la lune met à revenir à la conjonction ou à accomplir ce qu'on appelle sa *révolution synodique* est le mois lunaire apparent, la période des phases, et est à peu près de 29 jours $\frac{1}{2}$, tandis que la lune ne met éellement que 27 jours $\frac{1}{3}$ à accomplir une révolution complète autour de la terre, à revenir au même po du ciel ou du zodiaque.

La terre et la lune sont des corps obscurs qui reçoi-

Digitized by Google

vent tous les deux la lumière du soleil. Le soleil, la terre et la lune étant tous les trois sphériques et les deux dernières beaucoup plus petites que le premier, il y a derrière chacune d'elles une ombre conique et une pénombre très-peu évasée, à cause de la grande distance du soleil.

Quand la lune est en opposition, elle peut pénétrer dans le cône d'ombre de la terre. Il y a alors *éclipse de lune*. Il y a bien une légère éclipse quand elle pénètre dans la pénombre, mais le phénomène étant assez peu sensible, on le néglige ordinairement.

Lors de la conjonction, si une partie quelconque de la lune vient s'interposer entre la terre et le soleil, à la manière d'un écran, il y a éclipse partielle de soleil pour les régions de la terre qui entrent ainsi seulement dans la pénombre.

Il peut encore arriver que la pointe du cône d'ombre de la lune dirigée vers la terre atteigne ou n'atteigne pas sa surface; cela tient à ce que la longueur de ce cône d'ombre est tantôt un peu plus grande et tantôt un peu plus petite que la distance de la lune à la surface de la terre, parce que cette distance varie elle-même, la courbe décrite par la lune autour de la terre n'étant pas un cercle, mais une ellipse (1). Quand la lune est à sa plus grande distance de la terre, à l'*apogée*, la pointe du cône ne peut pas atteindre la surface de la terre, même quand la lune s'interpose tout entière entre elle et le soleil. La terre n'est donc encore rencontrée que par la pénombre, l'éclipse n'est pas totale, elle est *annulaire* pour les lieux convenablement situés. Mais quand la lune est à une distance moindre de la terre, au *périgée* ou dans le voisinage de ce sommet de l'ellipse, le cône d'ombre peut atteindre la terre, et sur toute l'étendue de la surface qui reçoit l'impression de cette ombre, il y a *éclipse totale* de soleil.

Achevons maintenant de spécifier les circonstances nécessaires à la production des éclipses. Si l'orbite apparente de la lune coïncidait avec celle du soleil, à chaque conjonction il y aurait éclipse de soleil, et à chaque opposition il y aurait éclipse de lune (il en est ainsi, par exemple, pour les trois premières satellites ou lunes de de Jupiter). Mais la faible obliquité (de 5°) du plan de l'une de ces orbites sur celui de l'autre est cependant assez sensible pour que les choses se passent tout autrement.

Les éclipses ne sont possibles que si, à l'époque d'une conjonction ou d'une opposition (d'une nouvelle ou d'une pleine lune), la lune n'est pas trop éloignée d'un de ses nœuds, c'est-à-dire si elle est assez voisine de l'orbite apparente du soleil, d'où le nom d'*écliptique* donné au plan de cette orbite.

Les régions dans lesquelles les éclipses sont possibles, ont, de part et d'autre de chacun des nœuds, des étendues faciles à calculer et auxquelles les astronomes ont conservé pendant longtemps le nom de *ventre du dragon*. Leurs extrémités se nommaient de même la *tête* et la *queue* du dragon. La détermination de ces limites, représentées sur le planétaire mis sous vos yeux (1), ne pourrait nous occuper ici, mais il nous reste à indiquer les principes qui conduisent à la prédiction des éclipses.

Supposons qu'au moment d'une conjonction la lune se trouve précisément à l'un des nœuds de son orbite. Les trois centres du soleil, de la lune et de la terre seront alors en ligne droite. Il y aura une éclipse centrale de soleil, totale ou annulaire, selon le cas. Quinze jours plus tard, il y aura opposition, la terre sera entre la lune et le soleil, et cependant il n'y aura pas d'éclipse de lune, parce que cet astre ne sera pas dans les limites qui se rapportent à cette sorte d'éclipse; il sera sorti du ventre du dragon des éclipses de lune, car il y a deux dragons, un plus grand pour le soleil, et un de plus petite taille pour la lune. Nous en verrons la raison un peu plus loin. C'est ici le point délicat de notre sujet; je réclame donc toute votre attention.

Si, entre la conjonction et l'opposition, la lune parcourait seulement la moitié de la circonférence de son orbite, et qu'elle fût partie de l'un de ses nœuds, elle se trouverait justement à l'autre au moment de l'opposition et elle entrerait tout entière dans le cône d'ombre de la terre. Mais nous avons vu que le déplacement de la terre dans un mois obligeait la lune à faire plus d'une révolution entière pour que celle-ci revienne à une même phase, en conjonction par exemple; donc aussi dans un demi-mois, la lune parcourt plus d'une demi-circonférence, elle s'éloigne donc de son nœud et peut ainsi sortir du ventre du dragon. C'est en effet ce qui arrive dans les circonstances que j'ai précisées plus haut.

Il y a plus, les nœuds eux-mêmes ne sont pas fixes, ils ont un mouvement lent, mais continu et à peu près uniforme de *rétrogradation* sur l'écliptique, c'est-à-dire que tandis que la lune se meut de l'ouest vers l'est, les nœuds se déplacent progressivement dans le sens de l'est à l'ouest, ce qui contribue à écarter la lune de son nœud à l'époque de l'opposition et dans les circonstances que nous avons choisies.

En continuant l'étude de la succession des éclipses, soit par la géométrie, soit à l'aide de notre appareil uranographique, nous reconnaîtrions que la *ligne des nœuds* revient tous les six mois environ dans la direction du soleil. Il y a donc là une première période qui règle l'arrivée des éclipses; mais à chacune de ces périodes le nombre et l'espèce des éclipses peuvent varier. On voit

(1) Plusieurs des termes dont se sert ici le professeur ont été définis précédemment par M. Briot, dans sa conférence sur les comètes. Voy. le n° 13 de la *Revue des cours scientifiques* (3e année 1866), p. 209.

(1) L'explication des mouvements de la terre et de la lune et celle des éclipses qui en résultent étaient facilitées, dans l'amphithéâtre, par un planétaire pareil à celui qui existe au Conservatoire des arts et métiers, et qui avait été mis à la disposition du comité des conférences par M. Destouche, horloger à Paris.

Digitized by Google

très-facilement qu'il se produit toujours une éclipse de soleil et qu'il peut s'en produire deux, auquel cas il y a nécessairement une éclipse de lune intermédiaire; il peut aussi arriver qu'il y ait une éclipse de soleil et une éclipse de lune ou enfin une éclipse de soleil seulement.

Lorsque le dernier cas se présente deux fois de suite, à six mois d'intervalle, il n'y a, dans l'année, que deux éclipses qui sont toutes deux des éclipses de soleil. Quand, au contraire, à chacune des deux époques, il y a deux éclipses de soleil et une de lune, le nombre total des éclipses s'élève déjà à six et comme 12 mois, environ de 29 jours ½, ne font que 354 jours, tandis que l'année solaire dont nous nous servons comprend 365 ou 366 jours, le mouvement de rétrogradation aidant, on arrive au maximum de sept éclipses dans une même année.

Le mouvement des nœuds étant rétrograde, c'est-à-dire en sens inverse de celui du soleil dans le zodiaque, si nous partons de la conjonction d'un de ces nœuds avec le soleil, il est facile de voir que ce nœud se retrouvera en conjonction avant une année révolue, et l'on trouve effectivement que l'intervalle qui sépare deux conjonctions consécutives ou la durée de la *révolution synodique* du nœud est de 346 jours. La combinaison de cette période avec celle de la *révolution synodique* de la lune ou du mois lunaire de 29 jours ½ conduit aisément à la détermination d'une autre période de 18 ans et 11 jours qui est celle des Chaldéens et qui comprend 223 lunaisons. Pendant cette période, il se produit en tout 70 éclipses dont 41 de soleil et 29 de lune.

Mais je me hâte d'abréger ces détails de chiffres, arides, je le sens bien, et je me borne à ajouter que l'appareil planétaire qui fonctionne sous vos yeux (malheureusement un peu petit pour cet amphithéâtre, mais que vous pourriez voir à loisir au Conservatoire des arts et métiers) permettrait, avec un peu de patience, de vérifier l'exactitude approchée de cette période. Je crois d'ailleurs inutile de vous prévenir que les rapports qui existent réellement entre les dimensions des trois astres que nous considérons et leurs distances relatives, n'ont pas pu être conservés dans ce mécanisme auquel je ne saurais avoir recours, par conséquent, pour les explications qui vont suivre.

L'observation des éclipses totales et des éclipses annulaires de soleil démontre que le cône d'ombre de la lune atteint la surface de la terre ou peut rester en deçà, mais dans les deux cas le sommet du cône est assez peu éloigné de cette surface.

Deux conséquences importantes découlent de ce fait que la longueur du cône d'ombre de la lune est sensiblement égale à la distance de la lune à la terre ou au rayon de l'orbite lunaire.

En premier lieu (fig. 287), l'ombre de la lune, même dans les cas les plus favorables, ne peut recouvrir qu'une très-faible étendue de la surface de la terre (pour des habitants de la lune, la petite tache noire qui se produit alors sur le disque éclairé de la terre constituerait, à proprement parler, une *éclipse de terre*, et à ce propos je ferai remarquer que l'expression d'éclipse de soleil

FIG. 287. — Théorie des éclipses totales de soleil (d'après *le Ciel* de M. Guillmin).

est beaucoup moins convenable que celle d'occultation, car la lune opère comme un simple écran et n'éteint en aucune façon la lumière du soleil qu'elle intercepte seulement). Je reprends la première remarque au point de vue de l'observation terrestre, et je constate, d'après la figure projetée sur le tableau, que l'éclipse totale de soleil est un phénomène restreint à une petite étendue de la surface de notre globe.

A la vérité, par suite du mouvement de rotation de la terre sur son axe, l'ombre de la lune balaie la surface de la terre sur une assez grande longueur, mais toujours sur une très-faible largeur qui peut être nulle et ne dépasse jamais 75 lieues, environ la distance de Paris à Angers ou à Dijon.

La figure projetée sur le tableau (fig. 288), donne la trajectoire de l'ombre de la lune sur la surface de la terre, qui a produit l'éclipse totale du 18 juillet 1860, éclipse que nous décrirons tout à l'heure avec détail. Remarquez seulement, pour le moment, que l'étendue parcourue par la pénombre et représentée sur la figure par une teinte dégradée, étendue, qui fait connaître les contrées pour lesquelles l'éclipse a été partielle, a une largeur sensiblement égale au diamètre de la lune, ainsi qu'il est aisé de s'en rendre compte géométriquement, au moyen de la figure 287.

La seconde conséquence à tirer de l'égalité de la longueur de l'ombre de la lune et du rayon de l'orbite de

Digitized by Google

notre satellite, c'est que l'ombre conique de la terre ayant une longueur environ quadruple de celle de l'ombre de la lune, à l'époque des oppositions et quand la lune se trouve exactement à son nœud, celle-ci pénètre tout entière dans l'ombre de la terre et y reste plongée pendant plusieurs heures. Il y a éclipse totale de lune

FIG. 288. — Éclipse totale de soleil du 18 juillet 1860 ; marche de l'ombre et de la pénombre à la surface de la terre (d'après *le Ciel* de M. Guilmin).

et cette éclipse est visible pour tous ceux qui ont la lune au-dessus de leur horizon, c'est-à-dire pour un hémisphère entier et même davantage, car pendant la durée de l'éclipse la lune s'est levée sur l'horizon de lieux situés de plus en plus à l'ouest.

Par suite, le phénomène des éclipses de lune est réputé plus fréquent que celui des éclipses de soleil toujours limité, comme nous l'avons vu, à une zone beaucoup moins étendue de la surface de la terre.

Cependant, si nous jetons un coup d'œil sur notre première figure (fig, 286), où se trouvent indiquées les positions relatives du soleil, de la lune et de la terre, à l'époque des oppositions et à celle des conjonctions, nous reconnaîtrons facilement que les éclipses de soleil sont réellement plus fréquentes que celles de lune, non pas à la vérité pour un même lieu de la terre, mais en tant que phénomène céleste en général.

Voilà pourquoi on trouve, d'une part, que sur les 70 éclipses qui se produisent pendant la période chaldéenne de 18 ans et 11 jours, il y en a 41 de soleil et 29 de lune, et d'un autre côté que pendant toute la durée du XIXe siècle il y a eu ou il y aura 73 éclipses de lune et 39 éclipses de soleil seulement, visibles à Paris.

III

DESCRIPTION D'UNE ÉCLIPSE TOTALE DE SOLEIL.

Cette conférence ayant pour objet spécial les éclipses de soleil, je ne dois pas m'arrêter à la description de l'aspect physique de la lune pendant ses éclipses. C'est d'ailleurs un spectacle familier dont vous avez sans doute été tous témoins et qui ne présente pas de particularités bien extraordinaires (1).

Il en est à peu près de même, à la vérité, du phénomène des éclipses partielles de soleil qui, bien que moins fréquentes pour un même lieu de la terre, l'est néanmoins assez pour que tout le monde ait eu l'occasion de l'observer. Aussi le sujet qui nous occupe serait-il bientôt épuisé, si le cas beaucoup plus rare des éclipses totales ne s'offrait à nous, accompagné de circonstances du plus grand intérêt.

Vous aurez une idée de la rareté de ce phénomène quand vous saurez qu'il n'y a pas eu d'éclipse totale de soleil visible à Paris depuis celle de l'année 1724, et qu'il n'y en aura pas jusqu'à la fin du siècle actuel. C'est donc un intervalle de près de deux siècles pendant lequel les Parisiens auront été privés de l'un des plus admirables spectacles que nous offre le ciel.

Pour des causes qu'il serait superflu d'indiquer ici, certaines régions du globe sont à cet égard beaucoup plus favorisées que d'autres. Ainsi, dans le bassin de la Méditerranée et pour des localités assez peu distantes les unes des autres, il y a eu ou il y aura, dans le cours du XIXe siècle, quatre éclipses totales de soleil. Ce sont celles de 1842, de 1860, de 1870 et de 1888.

Vous voyez, toutefois, que même pour les contrées privilégiées, c'est encore une rareté qu'une éclipse totale de soleil. Ajoutez à cela que la plus grande durée de l'occultation totale atteint à peine quelques minutes pendant lesquelles le soleil peut être accidentellement couvert par des nuages, et vous reconnaîtrez qu'il ne faut pas laisser perdre l'occasion, quand elle se présente, et surtout quand on est allé la chercher au loin.

Pour vous mettre mieux à même de comparer une éclipse totale avec une éclipse partielle, nous allons, au moyen d'un mécanisme très-simple, reproduire d'abord les phases de l'éclipse partielle et même celles d'une éclipse centrale mais annulaire, puis nous vous montrerons celles de l'éclipse totale, en nous arrêtant naturellement à la phase principale, la totalité, par laquelle seule ce phénomène diffère des autres (2).

Vous voyez que l'éclipse partielle et l'éclipse annulaire elle-même, telles que vous venez de les observer

(1) J'ai bien regretté cependant que le temps ne m'ait pas permis de montrer à mes auditeurs les belles épreuves photographiques de deux éclipses de lune obtenues et habilement combinées pour la vision stéréoscopique par M. Warren de la Rue. A. L.

(2) Il est clair que le jeu du mécanisme dont il s'agit ne saurait être rendu par une figure.

Digitized by Google

sur le tableau (et telles que vous pourriez les observer dans le ciel, en prenant seulement la précaution de préserver votre vue au moyen d'un verre fortement coloré), ne produisent pas d'autre effet que celui que l'on pouvait attendre du passage d'un disque obscur devant un un disque éclatant.

Je dois dire, toutefois, que M. Baily et d'autres astronomes après lui, ont remarqué que, dans les éclipses annulaires, au moment où le disque de la lune est sur le point de se projeter entièrement sur celui du soleil, le premier de ces disques semble adhérent au second et qu'en se séparant de lui, il laisse voir une traînée de points lumineux séparés par des espaces obscurs.

Ces intervalles obscurs semblent s'étirer comme feraient des ligaments élastiques, pour se rompre bientôt. La même apparence se produit quelquefois en sens inverse, au moment où le disque obscur de la lune est sur le point d'atteindre le bord opposé du soleil. On ignore la cause de ce phénomène qui a été également observé, dans certains cas sur des éclipses totales et auquel on a donné, d'après M. Baily, le nom de *grains de chapelet*.

Indépendamment des grains de chapelet, on a encore constaté, dans les mêmes circonstances, des déformations considérables sur les deux bords du soleil et de la lune qui sont près d'arriver au contact. Ce fait remarqué la première fois par Euler et révoqué en doute par plusieurs astronomes, a été vérifié en 1860 par la plupart des personnes qui ont observé avec nous à Batna, l'éclipse du 18 juillet, et notamment par M. Salicis qui, n'étant pas prévenu, en a été très-frappé en le constatant dans sa lunette. La photographie a même permis à M. Girard, l'un de nos collaborateurs, de fixer une de ces apparences singulières, dont je mets l'image sous vos yeux (fig. 289). Vous y remarquerez une dégrada-

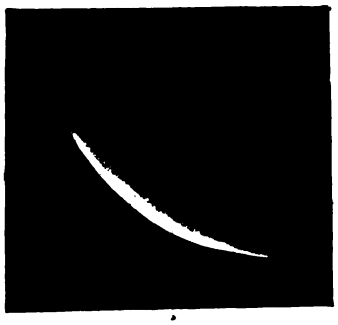


Fig. 289. — Éclipse totale de soleil du 18 juillet 1860 ; forme arrondie et tronquée des cornes du croissant solaire reproduite sur une épreuve photographique de M. Girard (d'après *le Ciel* de M. Guillmin).

tion de lumière, allant du bord du soleil à celui de la lune et l'écornement de l'une des pointes du croissant délié qui représente ce qui restait alors du disque du soleil. Sans vouloir se livrer à des conjectures qui pourraient paraître hasardées, il est bien difficile de ne pas chercher dans l'existence d'une atmosphère de la lune, l'explication de ces phénomènes dont l'un (l'écornement du croissant) a été rapporté par un observateur espagnol, M. le capitaine Marquez, à celui des protubérances dont je vais avoir à vous entretenir.

Je dois dire également, à ce propos, qu'un habile physicien, M. Jansen, recommande l'observation spectroscopique du bord de la lune pendant toute la durée des éclipses solaires (des éclipses partielles), à l'effet de vérifier l'existence ou de constater la non-existence d'une atmosphère lunaire.

J'ai un peu anticipé sur le sujet qui doit maintenant nous occuper plus spécialement, celui des éclipses totales. Pour vous donner une idée complète du phénomène, nous allons également le reproduire sur le tableau, en empruntant les détails à l'observation de l'éclipse du 18 juillet 1860.

Vous remarquerez d'abord que les phases successives sont encore entièrement analogues à celles d'une éclipse partielle ou annulaire, mais voici que nous approchons de l'observation totale et il va se produire un premier phénomène que l'on connaissait précédemment, mais qui a été étudié avec soin pour la première fois à Batna, par M. le capitaine Mannheim.

Quelques instants avant l'occultation totale, des franges alternativement blanches et obscures, parallèles et de plus en plus serrées courent sur le sol et sur tous les objets qui environnent le spectateur. Pour mieux les observer, M. Mannheim avait tendu une grande feuille de papier blanc sur le côté d'une baraque en planches qui était le plus convenablement exposé, et il a pu mesurer l'inclinaison, la largeur et l'espacement des franges obscures, et apprécier leur vitesse croissante. Vous voyez en ce moment le phénomène se reproduire sur le tableau qui peut vous représenter la feuille de papier, très-amplifiée toutefois, sur laquelle a opéré M. Mannheim (fig. 290).

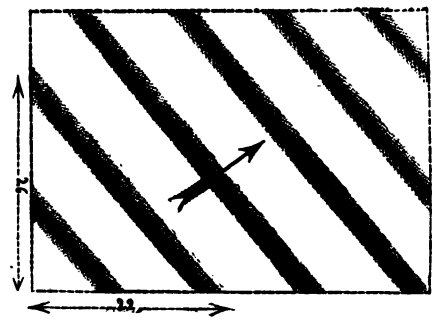


Fig. 290. — Franges obscures observées pendant l'éclipse de soleil du 18 juillet 1860, et reproduites photographiquement par M. Mannheim.

Ces franges dont l'inclinaison est en relation avec la direction du dernier filet lumineux du disque du soleil ne pouvant pas être considérées comme un phénomène de diffraction ordinaire, M. Faye a tenté de les expliquer par un mirage oblique dans notre atmosphère. Il me semble que dans l'hypothèse, déjà émise, d'une atmosphère de très-faible hauteur mais d'une assez grande

Digitized by Google

densité, il devrait y avoir un phénomène connexe, au moment où les derniers rayons du soleil traversent cette atmosphère ?

Nous voici arrivés à la phase principale, à l'occultation totale (fig. 291). Contrairement à ce qu'on serait tenté

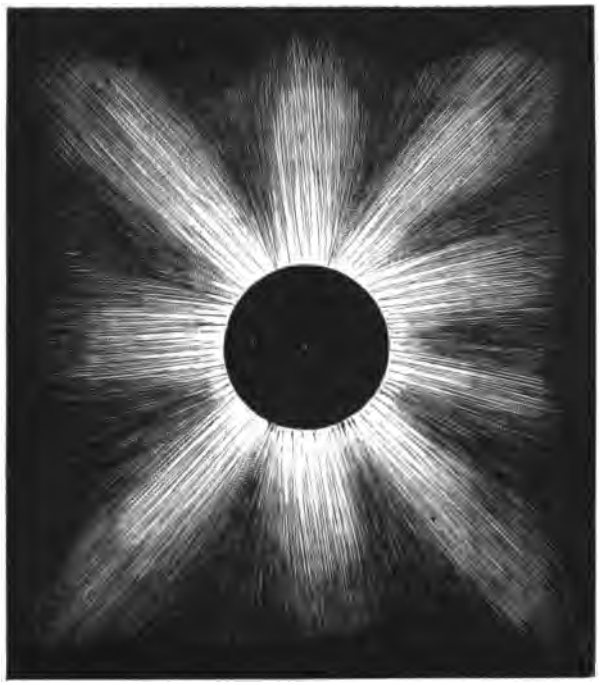


Fig. 291. — Éclipse totale de soleil du 18 juillet 1860; aspect du phénomène au moment de l'occultation totale.

de supposer, l'obscurité est loin d'être complète, et les lanternes que nous avions fait allumer, par pure précaution, le 18 juillet 1860, nous ont été inutiles pour lire, écrire ou dessiner.

Permettez-moi maintenant d'appeler votre attention sur le dessin projeté sur le tableau. Il ne vous donnera, à coup sûr, qu'une faible idée de l'admirable spectacle dont les observateurs d'une éclipse totale sont ordinairement témoins, mais il m'aidera beaucoup à vous en expliquer les traits les plus remarquables.

Tout autour du disque obscur de la lune s'étale une lumière d'un blanc pur (la lumière blanche par excellence, du moins pour les observateurs de Batna), la *couronne*, d'où jaillissent des rayons qui se prolongent inégalement mais à une assez grande distance dans tous les sens. Ces rayons dont la direction ne passe pas nécessairement par le centre des disques lunaire ou solaire et dont quelques-uns même ne sont pas rectilignes, ont reçu le nom d'aigrettes; vous pouvez remarquer que l'un d'eux, dans le cas dont il s'agit (à l'angle gauche supérieur du tableau), affecte la courbure d'un panache. L'ensemble de ce magnifique phénomène a été comparé à l'*auréole* ou à la *gloire* dont les peintres entourent quelquefois les têtes des saints. Rien de plus imposant, de plus grandiose que ce splendide effet de lumière contemplé à la vue simple, et dont tous les spectateurs jouissent par conséquent, aussi bien et même mieux que les astronomes armés de lunettes puissantes et occupés de mesures et d'observations de détail.

Vous voyez encore, tout près des bords du disque de la lune, des taches de formes, de dimensions et de couleurs variées. Ce sont elles qui ont tant attiré l'attention des astronomes, sous le nom assez mal choisi de *protubérances*, depuis l'éclipse du 8 juillet 1842, où elles surprirent tous ceux qui étaient allés observer cette éclipse dans le midi de la France et en Italie, notamment Arago et M. Airy. La production de ces taches, d'ailleurs à peine visibles à l'œil nu, n'était cependant pas un fait accidentel, mais il avait passé presque inaperçu jusque-là, quoiqu'il eût été très-nettement signalé par un astronome suédois, Vassénius, qui l'observa à Gothenburg, à l'occasion de l'éclipse du 3 mai 1733.

Qui est-ce qui produit l'auréole? Quelle est la nature des protubérances? Ces questions et bien d'autres encore étaient posées depuis longtemps, et Arago avait indiqué la polarisation et la photographie comme pouvant aider à les résoudre.

On avait bien déjà constaté que les premières protubérances apparaissaient du côté de l'est, puis que le disque de la lune les recouvrait peu à peu et en découvrait de nouvelles du côté de l'ouest, ce qui avait fait admettre par la plupart des astronomes qu'elles appartenaient au soleil et non à la lune, celle-ci se comportant par rapport à elles, comme un écran. Il y avait cependant bien des opinions divergentes à leur égard. Ainsi, tandis que les uns se demandaient si le phénomène avait un corps et s'il n'était pas dû à quelque jeu de lumière, d'autres avaient été jusqu'à supposer que les protubérances pouvaient être des amas de matière cosmique circulant autour du soleil, à la manière des planètes.

Les épreuves photographiques obtenues en deux points différents de l'Espagne assez distants l'un de l'autre, d'une part à Rivabellosa par M. Warren de la Rue, et de l'autre à Campvey, par le P. Secchi et M. Aguilar, ont prouvé la réalité du phénomène en même temps que l'immobilité à peu près complète des protubérances pendant un intervalle de temps notable, immobilité incompatible avec l'hypothèse d'une matière cosmique ou planétaire dont le mouvement serait au contraire extrêmement rapide, à cause de sa proximité du soleil.

Il résulte de là que la comparaison la plus plausible est celle qui avait été faite aussi de ces protubérances (dont quelques-unes ont été vues entièrement détachées du disque de la lune et par conséquent de celui du soleil) avec les nuages formés dans notre atmosphère.

Des expériences délicates de polarisation faites à Briviesca (Espagne), par un habile astronome polonais, M. Prazmowsky, sont venues corroborer cette opinion et démontrer nettement l'existence d'une atmosphère éten-

Digitized by Google

due autour du soleil. Il résulte en effet de ces expériences : premièrement que la couronne est fortement polarisée dans tous les sens, ce qui accuse la présence d'une atmosphère gazeuse autour du soleil, et secondement que les protubérances n'offrent aucune trace de polarisation et peuvent être dès lors assimilées à des nuages flottant dans cette atmosphère. Les aigrettes divergentes peuvent, ce me semble, être comparées à leur tour à ces effets bien connus de soleil couchant produits dans notre atmosphère par le passage des rayons solaires à travers les interstices des nuages situés à l'horizon.

La courbure, faible d'ailleurs quoique sensible, observée sur quelques faisceaux, reste seule assez difficile à expliquer, à moins qu'on ne l'attribue à une illusion résultant des directions relatives des différents faisceaux contigus.

A côté de ces données précises concernant la constitution physique du soleil, données dues à l'emploi d'instruments d'une extrême sensibilité, je dois citer d'autres observations de phénomènes tout à fait inexpliqués.

Ainsi, en 1715, Halley trouva que la couronne d'un blanc de perle était teintée çà et là des couleurs de l'arc-en-ciel. Les astronomes américains ont fait une observation analogue le 18 juillet 1860, mais sur le disque même de la lune.

En Nubie, des personnes dignes de foi ont vu de leur côté une tache lumineuse au milieu de la lune. Or, il est remarquable, ainsi que l'a fait observer M. Faye, que ce soit aux deux extrémités de la ligne d'ombre, au lever et au coucher du soleil (fig. 288), quand l'épaisseur de l'atmosphère terrestre pouvait jouer un rôle, que ces jeux de lumière se soient produits.

La tache blanche observée en Nubie ne doit pas être confondue avec le point brillant intérieur au disque de la lune, mais situé près du bord, qui a été observé pour la première fois par l'amiral espagnol Ulloa, dans le siècle dernier. Pour expliquer un fait aussi inattendu, on est allé jusqu'à supposer que la lune, dont la surface est si fortement accidentée, pourrait être perforée de part en part, d'où le nom de *trou d'Ulloa* donné au phénomène; mais il peut y avoir là une illusion d'optique qui s'est reproduite à la vérité en 1842 pour M. Valz et en 1860 pour MM. Bour et Mannhein. Dans tous les cas, l'explication que je viens de rapporter me semble on ne peut plus invraisemblable, mais en revanche le fait ne peut guère être révoqué en doute quand on le voit constaté simultanément par M. Mannheim qui observait à à l'œil nu et par M. Bour, qui observait avec une lunette et qui a vu le point brillant dans la position symétrique qu'il devait en effet occuper, quand on connaît surtout la scrupuleuse exactitude de ces deux observateurs dont le dernier, M. Bour, vient d'être enlevé prématurément, au seuil de la plus brillante carrière.

Je n'entreprendrai pas de vous signaler une foule d'autres phénomènes accidentels comme la visibilité des taches de la lune dont le disque est en effet éclairé alors par la *pleine terre*, la coloration de ce disque, des éclairs qui l'auraient sillonné ou plutôt qui se seraient projetés sur lui, le mouvement de rotation de l'auréole comparée à celui d'un soleil d'artifice par quelques-uns, tandis que cette auréole est d'ordinaire parfaitement calme, etc., etc. ; mais je ne dois pas omettre de vous indiquer l'observation astronomique proprement dite, qui a été pendant longtemps la plus importante de toutes. Le résultat que nous avons trouvé, à l'occasion de l'éclipse du 18 juillet 1860, mérite d'ailleurs de fixer votre attention.

Pour fournir aux géomètres les éléments nécessaires à la vérification de la théorie si difficile de la lune, les astronomes ont toujours cherché à profiter des éclipses de soleil et spécialement des éclipses totales, en observant avec le plus grand soin les instants où les bords des deux astres (lune et soleil) sont en contact extérieur ou intérieur. La prédiction de ces instants pour un lieu déterminé, quoique devenue de plus en plus exacte, laissait encore, il y a peu d'années, des incertitudes qui allaient à plusieurs minutes de temps. Grâce aux perfectionnements récents des *Tables* du soleil par M. Leverrier et surtout de celles de la lune par M. Hansen, ces derniers dus à l'observation pour ainsi dire incessante de notre satellite à l'observatoire de Greenwich, les différences trouvées en juillet 1860, à Batna, entre les temps calculés et les temps observés sont si faibles que l'on pourrait, à la rigueur, les laisser au compte de l'observation seule; vous en jugerez en jetant un coup d'œil sur le tableau.

Observation de l'éclipse totale de soleil du 18 juillet 1860 à Batna (Algérie).

NUMÉROS des contacts.	HEURES ANNONCÉES d'après les tables.			HEURES OBSERVÉES.		
	Heure.	Minute.		Heure.	Minute.	Seconde
1er (extérieur).	2	37	(heure calculée à la minute).	2	37	29
2e (1er intérieur).	3	46	5 sec.	3	46	9,5
Milieu de l'éclipse.	3	47	40	3	47	38,9
3e (2e intérieur).	3	49	15	3	49	8,3
4e (2e extérieur).	4	51	(heure calculée à la minute).	4	51	11

Les différences, comme vous voyez, ne sont que de quelques secondes pour les deux contacts intérieurs et d'une seconde et demie seulement pour l'instant du milieu de l'éclipse. Il ne semble guère possible de dépasser un pareil degré de précision dans l'observation d'un phénomène de ce genre.

Vous pouvez encore remarquer, d'après les nombres projetés sur le tableau, que l'éclipse générale a duré en-

Digitized by Google

viron deux heures et demie à Batna; c'est là, en effet, la durée ordinaire d'une éclipse totale, depuis le premier contact extérieur jusqu'au dernier. Quant à l'occultation totale, elle a été de trois minutes à peine, et il est assez rare de jouir de la vue des beaux phénomènes qu'elle produit pendant un temps aussi long (à nos latitudes, le maximum de durée est de sept à huit minutes, mais je ne sache pas qu'on y ait observé, dans des circonstances favorables, des éclipses totales de plus de quatre à cinq minutes).

C'est pendant un intervalle de temps aussi court que les astronomes doivent procéder à l'examen, à l'étude attentive de toutes les particularités dont je viens de faire l'énumération et de plusieurs autres qu'il me reste à vous signaler.

Évidemment, le personnel employé à de semblables observations ne saurait être trop nombreux, et une division convenable du travail est indispensable pour que chacun puisse porter son attention à peu près exclusive sur un petit nombre d'objets déterminés.

Tel avait été le principe admis par la commission (1) envoyée en Algérie par S. Exc. M. le ministre de la guerre, sur la demande du général commandant l'École polytechnique (2), pour observer l'éclipse de 1860.

Le directeur de l'Observatoire de Paris et plusieurs astronomes attachés à cet établissement s'étaient rendus en Espagne, où plus de quatre-vingts savants français et étrangers (dont la moitié au moins étaient anglais) se trouvèrent répartis sur toute la ligne parcourue par l'ombre de la lune, de Santander aux côtes de Valence, ligne que vous pouvez suivre sur le tableau (fig. 288). Les observateurs espagnols étaient également très-nombreux aux différentes stations et opéraient généralement d'après un programme convenu. Enfin les État-Unis avaient envoyé des expéditions scientifiques en trois points de leur territoire sur lequel l'éclipse se montrait le matin, tandis que l'astronome du Caire, Mahmoud-bey, était allé à Dongolah, en Nubie, où l'éclipse avait lieu au soleil couchant.

Le temps a favorisé presque partout l'observation de cette remarquable éclipse qui, suivie depuis le lever jusqu'au coucher du soleil (sur un arc étendu qui traversait l'ancien et le nouveau continent dans des contrées civilisées ou facilement accessibles), est peut-être la seule qui, jusqu'à ce jour, ait été étudiée aussi complétement et dans des conditions aussi avantageuses.

C'est pour cela et parce que je pouvais en parler *de visû* que je vous en ai entretenus plus particulièrement.

(1) Cette commission était composée de :

MM. Laussedat, professeur à l'école polytechnique, Salicis, Bour et Manaheim, répétiteurs, et Aimé Girard, conservateur des collections scientifiques à la même école. A son arrivée en Algérie, la commission reçut l'accueil le plus empressé et le plus bienveillant de la part des autorités, et, ce qui ne fut pas moins précieux pour elle, le concours de plusieurs officiers et sous-officiers du génie et de l'artillerie qui devinrent ses actifs collaborateurs.

(2) M. le général Eblé.

Il me reste, pour terminer, à vous faire connaître quelques-uns des effets physiques et physiologiques les plus remarquables que produisent les éclipses totales. Les faits que je vous citerai sont empruntés pour la plupart à la série des observations instituées à Batna.

J'ai déjà dit que, pendant l'occultation totale, l'obscurité n'avait pas été complète à beaucoup près; l'atmosphère présentait des teintes que l'on pouvait comparer à celles du crépuscule, mais dans un ordre particulier et en quelque sorte inverse, la dégradation de la lumière ayant lieu d'un point élevé du ciel (celui qu'occupait le soleil) vers l'horizon. Plusieurs planètes situées, à cette époque, dans le voisinage du soleil, Vénus, Jupiter, Saturne, Mercure et des étoiles de première et de deuxième grandeur furent vues à l'œil nu par la plupart des assistants et notées sur des cartes confiées à plusieurs officiers de la garnison de Batna qui avaient bien voulu se charger de cette observation. Le nombre des astres ainsi marqués sur les cartes a varié de 3 à 9.

La température de l'air qui s'était élevée à 36 degrés pendant la durée de l'éclipse partielle, descendit à 27 degrés au moment de l'occultation totale, et cette différence de 11 degrés constatée par une chute rapide d'un thermomètre placé à l'ombre fut naturellement plus sensible et très-aisément appréciée par tous les observateurs qui étaient restés à découvert. Elle le fut plus particulièrement par M. Girard qui, en sortant de son laboratoire, où régnait une température de 40 degrés au moins, fut pris de frissons.

Les instruments hygrométriques accusèrent un accroissement d'humidité, et l'on vit çà et là la rosée se déposer sur différents objets.

Le vent, assez fort dans la matinée et peu de temps avant l'éclipse, faiblit considérablement et cessa même tout à fait pendant la phase totale. Ce fait, que je tiens pour certain, contredit ce qui a été observé dans d'autres circonstances sous le nom de *vent de l'éclipse*.

D'ailleurs rien de particulier ou d'anormal ne fut noté dans la marche des autres instruments météorologiques, baromètre, aiguille aimantée, etc.

On avait remarqué, dans presque toutes les éclipses précédentes que la nature animée était plus ou moins influencée par la venue prématurée de la nuit, ou du moins de la demi-obscurité qui l'annonce.

Un garde du génie, M. Bauchetet, voulut bien se charger, à Batna, de surveiller avec attention les plantes et les animaux qui se trouvaient en assez grand nombre à sa portée. Je vais citer à peu près textuellement la note qui m'a été remise par ce zélé et intelligent observateur.

Fleurs. Les pavots, les daturas et les volubilis s'ouvrent ou s'entr'ouvrent à 3 heures 45 minutes (c'est-à-dire 2 minutes avant l'heure de l'éclipse totale).

Insectes. Les grillons et les autres insectes bourdonnants cessent tout à fait de chanter ou de voler pendant

Digitized by Google

toute la durée de l'éclipse totale et recommencent aussitôt après la réapparition des premiers rayons du soleil (cette observation est due à M. Lebiais, ingénieur des ponts et chaussées, qui se trouvait en rase campagne au moment de la phase totale).

Oiseaux. Des hirondelles rentrent dans une écurie où elles avaient leur nid. Une pie, un merle et une caille se perchent au moment de l'obscurité totale et se remettent à sauter, à caqueter et à siffler dès que le jour revient.

Les oies et les canards paraissent influencés même pendant l'éclipse partielle; à l'approche de l'éclipse totale, on les voit s'agiter, battre des ailes et pousser des cris de frayeur. Les canards se jettent à l'eau, en sortent et vont se coucher. On en voit revenir une bande qui était allée au loin et qui rentre à la basse-cour.

Les poules se conduisent à peu près de même; les coqs chantent (nous les entendîmes distinctement de notre campement).

Les pigeons sont tout effarés jusqu'à la réapparition du soleil, où toute la tribu ailée se remet en mouvement et reprend peu à peu ses allures.

Reptiles. On avait pris la peine de recueillir des reptiles et spécialement des rainettes qui abondent dans les marais de Batna; mais on n'a rien remarqué ni sur les uns ni sur les autres qui parût être un effet de l'éclipse.

Animaux supérieurs à l'état de domesticité ou apprivoisés. Ce qui a semblé plus surprenant, c'est que des animaux supérieurs, un singe, un chien, un chat, une gazelle, sont restés parfaitement insensibles à la venue d'une quasi-obscurité se produisant au milieu de la journée. Le singe notamment, dit M. Beauchetet, ne perdit pas une gambade.

J'arrive à ce qui nous intéresse le plus, à l'effet produit sur la nature humaine. Je ne prétends pas, toutefois, exprimer ce que chacun des observateurs éprouva à la vue de l'auréole. Nous avions réclamé le silence, mais ce fut, je le crois bien, une précaution inutile, tant la sublimité du spectacle captiva l'attention de tous. Les plus vieux soldats d'Afrique n'hésitèrent pas après à avouer la vive impression d'admiration qu'ils avaient éprouvée.

Le commandant supérieur de Batna, M. le colonel Pein, un de ces vétérans qui ont pourtant vu tant de choses, me déclara qu'il n'avait rien contemplé de si beau, et je le crus sans peine, car j'avais fait personnellement la même réflexion.

Les Arabes, sans doute pour ne pas paraître inférieurs, affectèrent l'indifférence, ceux du moins que nous observions et qui tournaient autour de notre campement avec une curiosité mal déguisée.

Mais les négresses d'un petit village voisin ne firent pas tant de politique; elles sortirent en foule dès le commencement de l'éclipse et exécutèrent, dans les règles, le charivari traditionnel dont le bruit vint jusqu'à nous et nous eût beaucoup gênés si nous avions été plus près du lieu de la scène. Quand le soleil fut délivré du dragon noir, elles se mirent à pousser des cris de joie et à se frapper sur la bouche pour produire le *you-you* bien connu de tous ceux qui ont assisté à quelque fête en Afrique.

Il se passait à la même heure, à quelque distance de Constantine (1) un événement qui mérite d'être rapporté.

Un marabout, ennemi de la France, qui exerçait une grande influence sur l'esprit de ses compatriotes, consulté par eux au sujet de l'éclipse, dont l'annonce avait fait assez de bruit, déclara que cette prédiction faite par des infidèles ne se réaliserait pas. Le phénomène n'en commença pas moins à se manifester à l'heure dite; mais le marabout s'entêta pour son malheur, il prétendit que le soleil ne disparaîtrait pas complétement. Quand, à son grand dépit, le dernier rayon s'évanouit, des rumeurs s'élevèrent de toutes parts dans la foule consternée et indignée, qui, dès qu'elle eut surmonté sa frayeur, c'est-à-dire à la première réapparition de la lumière du soleil, se mit à accabler le malencontreux prophète de huées, d'injures et même de coups, nous a-t-on assuré. Tout commentaire d'un semblable fait serait superflu, et je laisse à chacun le soin de l'interpréter.

Malgré l'heure avancée, je vous demande encore la permission de vous citer quelques passages des relations de la même éclipse que j'emprunterai à trois astronomes qui observaient dans des lieux différents et dont les témoignages présentent néanmoins un accord remarquable. Peut-être n'est-il pas inutile, pour donner encore plus de poids à cette identité d'appréciation, de faire remarquer que le premier, Mahmoud-bey, est musulman, le second, le R. P. Secchi, prêtre catholique, et le troisième, M. le capitaine Marquès, laïque et officier supérieur de la marine espagnole.

Voici l'extrait de la relation de Mahmoud-bey (2) :

« Les personnes qui venaient autour de nous chercher un peu d'assurance se laissaient aller, malgré elles, au saisissement universel. Tous se pressaient les uns contre les autres, se demandaient mutuellement pardon et s'embrassaient comme pour s'encourager et se dire adieu. C'était partout autour de nous, dans l'air, sur la terre et dans le cœur des hommes une indéfinissable terreur. »

Le P. Secchi s'exprime à son tour en ces termes :

« Les mieux préparés ne furent pas exempts d'une certaine inquiétude à la chute rapide de la lumière qui devint très-sensible dans les derniers instants, et que l'on peut comparer à ce qui se fait dans les théâtres pour imiter la nuit.

» On se sentait instinctivement porté à se défier de l'ave-

(1) Près de Hammam-Meskoutine, localité célèbre par ses eaux minérales.

(2) Cette relation est écrite en français par Mahmoud-Bey qui a puisé à Paris ses connaissances scientifiques et l'usage familier de notre langue.

Digitized by Google

nir et à redouter que les choses ne reprissent pas leur cours ordinaire. Malgré les nombreux avis et la publicité donnée à l'arrivée du phénomène, il y eut bien des personnes, particulièrement dans les classes peu instruites, qui donnèrent des signes de terreur. A Castellon, on vit des mères fondre en larmes, en attirant leurs enfants sur leur sein. »

Enfin, le tableau du capitaine Marquès n'est pas moins expressif : « Les paysans qui nous entouraient, dit-il, manifestèrent dès le commencement de l'éclipse une curiosité inquiète qui, au moment de l'obscuation totale, se convertit en une terreur superstitieuse. L'expression des physionomies était invariablement la même : le silence, l'immobilité, la bouche entr'ouverte, les yeux fixés au ciel, en un mot, tous les signes de la terreur.

» Mes sentiments furent tout différents ; ma pensée allait chercher dans une autre région plus haute et plus pure l'Auteur de la création. Elle s'absorbait dans la contemplation de l'une des plus grandes merveilles de la nature. »

Ces citations et ce dernier passage surtout résument exactement l'effet de l'éclipse sur l'homme en général. Presque partout, les personnes qui manquent d'instruction sont, malgré elles, dominées par un sentiment de crainte ou tout au moins d'inquiétude, alors même qu'elles sont prévenues. Celles qui connaissent la cause naturelle de ce magnifique phénomène le contemplent et en jouissent, en n'éprouvant d'autre impression que celle d'une profonde admiration.

Telle est, telle doit être l'influence de la vérité. Aussi le but le plus élevé de la science est-il de la découvrir, et ne saurions-nous avoir trop de reconnaissance pour les hommes de génie dont la vie a été consacrée à en dégager les avenues. Quand, grâce à eux, elle rayonne sur quelque point de notre horizon, sa vive lumière pénètre peu à peu notre raison et fait pâlir, disparaître les fausses lueurs qui s'étaient substituées à elle, car rien ne peut lui être opposée dont elle ne triomphe.

« Je tiens pour certain, dit Polybe, que la nature a donné aux hommes pour souveraine maîtresse la *vérité*, qu'elle a douée d'une force irrésistible. On la voit, en effet, cette vérité de tous côtés circonvenue, attaquée par des opinions fortes un jour de leur vraisemblance et cependant soutiens de l'erreur; on la voit sans autre appui que soi-même, pénétrer, je ne sais comment, dans l'esprit des hommes, et tantôt s'y trahissant par une explosion soudaine, tantôt par des efforts longs, mais incessants, se dégager peu à peu des ténèbres qui l'ensevelissent, à la fin apparaître, s'imposer et renverser l'erreur. »

Ce passage de Polybe sert d'épigraphe aux dialogues de Galilée sur le véritable système du monde. Il ne pouvait pas être mieux placé, et prenait en quelque sorte le caractère d'une prophétie.

A partir du triomphe de la doctrine copernicienne, l'astronomie n'a-t-elle pas été, en effet, le plus puissant auxiliaire de la philosophie ? N'est-ce pas cette science qui a détruit le plus de préjugés, fait évanouir le plus de fantômes et qui, en nous découvrant la structure de l'univers, ce côté si merveilleux de la vérité, nous a donné le légitime espoir de la connaître un jour toute entière.

Ce jour-là (1), espérons qu'il n'est plus très-éloigné, l'humanité entrera en pleine possession de tous les biens d'ordre moral autant que d'ordre matériel que Dieu lui a départis, en lui laissant le mérite de les découvrir et de les féconder par le travail.

Mais je m'arrête, je sens trop que ces réflexions pourront vous paraître ambitieuses. Laissez-moi donc vous prier de m'excuser si je ne suis pas parvenu à exprimer ce que je sens cependant très-vivement.

A. LAUSSEDAT,
Professeur à l'École polytechnique
et au Conservatoire des Arts et métiers.

Parmi les nominations ou promotions dans la Légion d'honneur à l'occasion de la fête du 15 août, nous signalerons particulièrement les suivantes qui concernent les membres de l'enseignement supérieur dans l'ordre des sciences :

Au grade de commandeur :

M. CHASLES (de l'Institut), professeur de la Faculté des sciences de Paris.

Au grade d'officier :

MM. Eudes DESLONCHAMPS, professeur à la Faculté des sciences de Caen.
DELPECH, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris.

Au grade de chevalier :

MM. Alfred RICHE, professeur à l'École de pharmacie de Paris, répétiteur à l'École polytechnique, essayeur à la Monnaie.
COSTE, professeur à l'École de médecine de Bordeaux.
LEREBOURS, membre adjoint du bureau des longitudes.
CLOEZ, aide naturaliste au Muséum d'histoire naturelle, répétiteur à l'École polytechnique.
PARISE, professeur à l'École de médecine de Lille.
CHANCEL, doyen de la Faculté des sciences à Montpellier.
ORILLARD, directeur de l'École de médecine de Poitiers.
ESTEVENET, professeur à l'École de médecine de Toulouse.
PLANCHON, directeur de l'École de pharmacie de Montpellier.
BUIGNET, professeur à l'École de pharmacie de Paris.
KŒBERLÉ, agrégé de la Faculté de médecine de Strasbourg.
JACCOUD, agrégé de la Faculté de médecine de Paris.

Il est d'usage, comme on sait, que l'Académie de médecine et la Faculté de médecine de Paris proposent chacune deux de leurs membres pour la décoration à l'occasion du 15 août, et d'ordinaire ces propositions sont consacrées. Cette année, aucune ne l'a été.

---

(1) Je n'ai pas prétendu dire que l'homme parviendrait jamais à pénétrer tous les secrets de la nature, mais seulement qu'il ne tarderait pas à en savoir assez pour ne plus se laisser dominer par de vaines terreurs comme celles dont il a été question dans le courant de cette conférence. Je crois que la plupart des maux qui affligent l'humanité seront conjurés par la science. A. L.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE — NUMÉRO 40 — 1er SEPTEMBRE 1866

INSTITUTION ROYALE DE LA GRANDE-BRETAGNE.

(Lectures du vendredi soir.)

M. BALFOUR STEWART F. R. S.

Sur l'existence d'un médium matériel remplissant l'espace.

L'espace interstellaire et interplanétaire est-il un *plenum* ou un *vacuum?* C'est là une question qui, depuis longtemps, occupe l'attention du monde savant.

Comme nous ne pouvons communiquer avec ces régions éloignées qu'au moyen de la lumière, c'est à cet agent que nous devons nous adresser pour répondre directement ou indirectement à cette question, soit en interrogeant sa nature ou ses propriétés, soit que nous mettions à profit la faculté qu'elle a de nous révéler la position et le mouvement des corps célestes, soit enfin en combinant ces deux propriétés.

Ce double aspect du problème donne lieu aux question suivantes :

1° La nature de la lumière et de la chaleur rayonnante nous conduit-elle à penser que l'espace est un plenum ou un vacuum?

2° Y a-t-il dans les mouvements des corps célestes quelque indice qui nous renseigne à ce sujet?

Ces deux questions embrassent tous les témoignages donnés par l'observation.

L'observation, disons-nous, et non pas l'expérience. En effet, l'observation nous fournit des preuves tirées d'une région où nous pouvons apercevoir ce qui se passe, mais dans laquelle nous ne pouvons nous transporter pour faire des expériences. Outre ces preuves nous pouvons, à la surface de la terre, faire des expériences dans nos laboratoires et en déduire plus ou moins de preuves sur cette question.

Nous avons donc trois sources de témoignages :

1° Témoignages tirés de la nature de la lumière et de la chaleur ;

2° Témoignages tirés du mouvement des corps célestes ;

3° Expériences faites à la surface de la terre.

Peut-être aussi la gravitation, force exercée par les corps à distance, le rapport entre les taches du soleil et le magnétisme terrestre, rapport découvert par le général Sabine, impliquent-ils l'existence d'un médium interplanétaire. Mais il vaut mieux nous en tenir à la lumière et à la chaleur. Nous savons que la lumière et la chaleur ont une certaine vitesse de propagation et nous pouvons supposer, par exemple, un rayon lumineux coupé en deux parties, à moitié chemin entre le soleil et la terre ; il se trouve donc là un certain montant d'énergie, qui n'est placé ni dans le soleil ni dans la terre, mais à moitié chemin entre les deux ; nous ne pouvons jusqu'à présent faire aucune supposition semblable pour la force de gravité ou pour l'action magnétique.

Commençons par les preuves tirées de la nature de la lumière et de la chaleur.

On suppose (ou pour mieux dire peut-être on a supposé, car les défenseurs de cette théorie ont disparu presque tous), que la lumière consiste en particules excessivement petites, projetées de tous côtés dans l'espace par un corps lumineux, particules ayant des propriétés différentes, mais qui toutes, cependant, traversent l'espace interplanétaire avec la même vitesse immense de 190 000 milles par seconde. D'un autre côté on suppose que la lumière n'est que la transmission de certaines vibrations se produisant au sein d'un médium répandu dans tout l'espace.

On peut expliquer en quelques mots la différence qui existe entre ces deux hypothèses.

La théorie de l'émission suppose le transit d'une particule individuelle depuis le corps lumineux jusqu'à l'œil ; la théorie d'ondulation, au contraire, suppose simplement le mouvement progressif d'un déplacement entre le corps lumineux et l'œil.

Ainsi, selon la première théorie, chaque rayon de lumière qui passe entre le soleil et la terre est équivalent à la transmission d'une grande quantité de particules, à une distance de trente-cinq millions de lieues ; tandis que selon la théorie de l'ondulation, le plus grand montant de déplacemeent relatif de l'éther, dont les vibrations forment ce rayon, est probablement inférieur au millionième d'un pouce.

La différence entre ces deux manières de considérer la lumière, quant à ce qui se rapporte à notre sujet, consiste en ceci :

L'existence d'un médium éthéré ne paraît pas être inséparablement liée à la première théorie, ou celle de l'émission. Les deux idées peuvent se soutenir et ont été soutenues ensemble, mais elles ne semblent pas intimement liées. D'un autre côté, si la lumière et la chaleur consistent dans la transmission de vibrations d'un médium emplissant l'espace, il faut tout d'abord supposer l'existence d'un semblable médium. Hooke et Huyghens ont été les auteurs scientifiques de la théorie ondulatoire de la lumière, tandis que Newton, au contraire, a été le grand défenseur de la théorie d'émission.

La réputation scientifique de Newton semble avoir retardé le progrès de la théorie ondulatoire, pendant près d'un siècle ; mais enfin cette théorie a été relevée et développée en Angleterre par Young, dont le nom est inséparablement lié à l'insti-

Digitized by Google

tution royale, et en France par l'illustre Fresnel. Ce n'est qu'en faisant appel à l'expérience, que nous pouvons décider entre ces deux théories rivales, et nous devons nous demander quelle est celle qui explique le mieux les phénomènes de l'optique.

Tout d'abord, si nous admettons l'hypothèse de l'émission, il n'est pas facile de concevoir pourquoi les particules lumineuses, émises par tant de sortes de corps différents, traversent l'espace avec la même vitesse. Pour surmonter cette difficulté, Arago a suggéré que les particules pouvaient être projetées avec des vitesses différentes, mais qu'une seule de ces vitesses était adaptée à nos organes de la vue. C'est là, cependant, une mauvaise explication, et la nécessité d'avoir recours à de tels arguments est une des preuves caractéristiques d'une fausse hypothèse. Car, si une théorie est bonne, il est étonnant de voir combien de faits elle peut expliquer sans supposition additionnelle. Si au contraire l'hypothèse est fausse, il faut expliquer presque tous les nouveaux faits par une nouvelle supposition, jusqu'à ce qu'enfin un fait se produise qu'il est impossible d'expliquer.

En outre, il est difficile de concevoir que des particules, quoique même excessivement petites, se mouvant avec une aussi énorme vitesse, ne nous portent pas des coups terribles à cause de leur momentum. On a calculé que si le poids d'une molécule de lumière se montait à un grain, le momentum de cette molécule équivaudrait à celui d'un boulet de canon, pesant cent cinquante livres, et se mouvant avec une vitesse de mille pieds par seconde.

En admettant même que le poids de la molécule de lumière soit bien des millions de fois inférieur à un grain, le momentum en serait cependant encore sensible, et comme des millions de millions de molécules lumineuses doivent entrer dans l'œil à chaque instant, de tous les points visibles de tous les corps visibles, nous serions réduits en atomes.

Il y a déjà bien des années, M. Bennet fit quelques expériences à ce sujet. Il suspendit horizontalement à un fil d'araignée un petit morceau de paille, et à une extrémité de ce levier, plaça un petit morceau de papier blanc; puis il plaça le tout sous un globe de verre, dans lequel il fit le vide, et projeta sur un des côtés du papier les rayons du soleil, concentrés au moyen d'une puissante lentille. Il ne se produisit pas le plus petit mouvement dans le levier.

Les défenseurs de la théorie d'émission s'attribuent cependant, sans doute, le droit de considérer les molécules de la lumière, et par conséquent leur momentum, comme aussi infiniment petites qu'ils le désirent, et bien entendu, si l'on admet ce raisonnement, les expériences les plus délicates même ne seront pas décisives. Mais une courte explication prouvera qu'on n'a pas le droit de supposer le momentum d'un rayon lumineux aussi petit qu'on le veut, car la théorie de la conservation de la force, théorie qui a été élaborée par Grove, Joule, Thomson et bien d'autres, et qui est à présent universellement acceptée, détermine ce momentum.

Bien entendu celui qui nie l'hypothèse ondulatoire peut en même temps nier la conservation de la force, mais alors nous n'avons pas à discuter avec lui ; nous pensons toutefois qu'on peut prouver qu'il est impossible de croire à la fois et à la théorie de l'émission et à la théorie de la conservation de la force.

Afin de le prouver, supposons qu'il existe un homme croyant à la théorie de la conservation de la force, mais repoussant la théorie ondulatoire et défendant à sa place la théorie d'émission. Or, il faut tout d'abord distinguer le momentum, ou le coup qu'un corps est capable de donner, de l'énergie qu'il possède. Ainsi, si nous tirons un coup de fusil de manière à frapper avec la balle une cible de fer, suspendue à une corde, et à y faire pénétrer la balle, cette cible, ou pendule, recevra un mouvement produit par le momentum de la balle. Quant au momentum, si l'on décharge un fusil, l'action et la réaction sont égales, de telle sorte que le momentum de la balle n'est pas plus considérable que le recul du fusil. On peut le prouver en suspendant le fusil et l'on verra que le mouvement imprimé au pendule par la balle qui frappe la cible est égal au mouvement imprimé au fusil par le recul.

Mais la balle fait plus que d'imprimer un mouvement à la cible : elle l'échauffe; en un mot cette chaleur représente l'énergie de la balle.

La force, on le sait, est proportionnelle au momentum, multiplié par la vitesse, aussi est-ce à cause de sa grande vitesse qu'une balle possède tant de force. Revenons à l'expérience de Bennet, dans laquelle un puissant faisceau lumineux frappait un morceau de papier attaché à l'extrémité d'une paille délicatement suspendue par le centre à un fil d'araignée. La théorie de la conservation de la force nous apprend que l'énergie de la lumière et de la chaleur, qui frappent le papier pendant une minute, sera, comme dans le cas de la balle, représentée par l'effet calorifique produit.

Or, nous pouvons grossièrement estimer cet effet calorifique, et nous pouvons, par conséquent trouver la force produite par un rayon en une minute et, connaissant la force nous pouvons immédiatement indiquer le momentum multiplié par la vitesse auquel la force est proportionnelle. Nous connaissons donc le momentum multiplié par la vitesse de la lumière, mais nous connaissons aussi la vitesse ; donc, en divisant le premier terme par le second, nous connaissons le momentum que la lumière devrait produire dans cet arrangement, si nous supposons que la théorie de l'émission soit vraie. On pourrait prouver par un calcul grossier que le coup devrait être sensible, mais Bennet, n'a trouvé aucune sensibilité. Nous pouvons donc en conclure que la théorie de l'émission est fausse.

MM. Foucault et Fizeau firent construire un appareil remarquable pour résoudre la grande question, jusque-là insoluble, d'une manière directe, la question de savoir, entre les deux systèmes de l'émission et des ondulations, quel est celui qui représente la vérité. Le système de l'émission conclut forcément que la lumière se propage dans l'eau plus vite que dans l'air. Comparons donc ces vitesses et reconnaissons enfin laquelle des deux est la plus grande. Or, après des expériences faites avec le plus grand soin, ces célèbres physiciens sont arrivés à prouver que la lumière se propage moins vite dans l'eau que dans l'air, résultat, comme nous le disions plus haut, favorable à la théorie des ondulations.

Il y a enfin un grand nombre d'expériences d'optique qui s'expliquent avec la plus grande facilité par la théorie des ondulations.

Toutes ces preuves différentes en faveur de la théorie des ondulations nous pousse donc à croire à la vérité de cette théorie ; or, si nous y croyons, nous devons croire aussi à l'existence d'un médium dans lequel ces ondulations peuvent se produire.

Nous allons maintenant discuter la seconde partie de notre

Digitized by Google

sujet, ou les témoignages que nous fournissent les mouvements des corps célestes; jusqu'à présent un seul de ces corps nous fournit quelques preuves de l'existence d'un médium éthéré.

En novembre 1818, M. Pons (de Marseille) découvrit une comète, que M. Encke de (Berlin), après en avoir calculé les éléments, reconnut pour la même comète, que celle qui avait été observée en 1786, en 1795 et en 1805. En comparant ces différentes observations, il remarqua immédiatement une diminution constante dans la durée de la révolution de la comète. M. Encke conçut l'idée que quelque influence permanente devait retarder le mouvement de la comète. Mais la nature de cette force ne pouvait être éclairée que par des observations faites avec soin, à chaque retour de la comète. Aussi, en 1819, appela-t-il sur elle l'attention des astronomes; mais les observations subséquentes et les calculs fondés sur ces observations n'ont été discutés que quarante ans plus tard. M. Encke obtint dans sa première étude les résultats suivants:

1° Il est impossible d'expliquer le mouvement de cette comète par les lois des mouvements planétaires.

2° La période totale de la révolution a diminué, depuis la première observation faite en 1786, de deux jours et huit heures, ce qui, eu égard à la courte durée de la révolution de cette comète (environ douze cent dix jours), est une différence beaucoup trop considérable pour qu'on puisse l'attribuer aux imperfections des observations ou des instruments.

3° Le montant de la diminution est, à chaque révolution, constamment le même, et cette diminution s'observe si régulièrement, chaque fois que la comète passe au périhélie, qu'il ne peut y avoir le moindre doute quant au fait lui-même.

4° La considération mathématique de la nature de la force qui cause ce retard prouve que c'est entièrement une force tangente, c'est-à-dire une force semblable à celle qui s'exerce toujours par un médium remplissant l'espace où un corps est en mouvement. Il s'ensuit que nous sommes conduits à admettre l'existence d'un médium remplissant tout l'espace, et produisant des effets analogues à ceux exercés sur notre terre.

Je désire appeler votre attention sur une expérience, incomplète encore, que j'ai entreprise de concert avec le professeur Tait. Cette expérience se fait au moyen d'un appareil ingénieux imaginé par M. Beckley, de l'observatoire de Kew. L'objet de cette expérience est de produire dans le vide une rotation très-rapide. On y arrive en faisant passer une tige, destinée à communiquer la rotation par un tube de baromètre ; au sommet de ce tube se trouve un large récipient, qu'on pourrait comparer au vide barométrique, si ce n'est que le vide est produit dans ce récipient au moyen d'une machine pneumatique. On peut faire tourner avec une grande vitesse dans ce récipient, au moyen d'une roue dentée, un disque d'aluminium de treize pouces de diamètre et d'un vingtième de pouce d'épaisseur. Quand on fait tourner ce disque pendant trente secondes avec une vitesse de quatre-vingt-trois révolutions par seconde, sa température s'élève d'un degré Fahrenheit, et cette augmentation de chaleur est indépendante et de la densité, et de la constitution chimique du résidu d'air qui se trouve dans le récipient.

Nous avons isolé le disque de toute pièce de métal au moyen d'un morceau d'ébonite, de façon que la chaleur de ses supports ne pût se communiquer à lui. L'expérience n'est pas encore tout à fait complète, mais cependant comme jusqu'à présent on ne peut expliquer cette augmentation de chaleur par aucune cause connue, nous serions disposés à penser qu'il faut en chercher l'explication dans la présence d'un médium résistant, dont nous ne pouvons nous débarrasser par le vide.

BALFOUR STEWART.

(Traduit de l'anglais par E. BARDIER.)

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS.

CONCOURS D'AGRÉGATION
(Section de chimie).

LEÇON DE M. EDME BOURGOIN.

Généralités sur la série aromatique.

Messieurs,

La question que j'ai à développer devant vous est intitulée : *Généralités sur la série aromatique.*

Que doit-on comprendre sous la dénomination de série aromatique? Telle est la première question que nous devons nous poser.

Si l'on jette un coup d'œil dans les traités de chimie, on est frappé de voir que dans aucun d'eux on ne trouve une définition précise sur ce point de la science. Cependant les auteurs conviennent tacitement de comprendre sous cette dénomination tout un ensemble de corps formant en quelque sorte une famille naturelle, c'est-à-dire rattachés les uns aux autres par des liens plus ou moins étroits. Il ne semble donc pas dès lors très-difficile de donner de la série aromatique une définition nette et précise.

Je pense que l'on peut définir la série aromatique, soit par l'énumération des corps que l'on comprend, soit par le mode de génération théorique et expérimental des composés fondamentaux de série, je veux dire des carbures aromatiques.

On peut comprendre dans la série aromatique les groupes suivants :

1° Phénylique (benzine, $C^{12}H^6$; phényle, $C^{12}H^4$ ($C^{12}H^6$); aniline, $C^{12}H^4$ (AzH^3), etc., etc.).

2° Phénylène (phénylène, $C^{12}H^4$; pyrocatéchine, $C^{12}H^6O^4$, etc.).

3° Benzylique (alcool benzoïque de Cannizzaro, $C^{14}H^8O^2$; essence d'amandes amères, $C^{14}H^6O^2$; acide benzoïque, $C^{14}H^6O^4$, etc.).

4° Salicylique (saligénine, $C^{14}H^8O^4$; essence de Reine-des-Prés, $C^{14}H^6O^4$, etc.).

5° Anisique (alcool anisique, $C^{16}H^{10}O^4$; anéthol, $C^{20}H^{12}O^2$, etc.).

Aux groupes précédents, on peut rattacher un certain nombre de matières colorantes, comme l'isatine et l'indigo; enfin, l'acide phtalique et ses dérivés.

6° Groupe cinnamique (acide cinnamique, $C^{18}H^8O^4$, styrol, $C^{16}H^8$, etc.).

7° Groupes xylénique, cuminique et cyménique (xylène, $C^{16}H^{10}$; cummène, $C^{18}H^{12}$; cymène, $C^{20}H^{14}$ et dérivés).

8° Groupe térébique et camphres (térébenthènes, $C^{20}H^{16}$, bornéol, $C^{20}H^{18}O^2$; menthol, $C^{20}H^{20}O^2$, etc.).

On voit donc que l'on peut ranger dans la série une multitude de corps comprenant surtout des essences, des huiles volatiles, des matières colorantes; c'est-à-dire à un point de vue plus scientifique des carbures d'hydrogène, comme la benzine, les térébenthènes, etc.; des aldéhydes, comme l'hélicine, l'essence d'amandes amères, etc.; des alcools et des phénols, comme le bornéol, le florilol; des acides, l'acide cinnamique, l'acide benzoïque; des éthers, le phénétol,

Digitized by Google

l'essence de *Gaulteria procumbens* ou éther méthylsalicylique; des amides, l'acide hippurique, l'acide tolurique; enfin des alcalis, l'aniline, la toluidine, l'amarine, etc. On peut y rattacher : comme produits de condensation, le caoutchouc et les composés encore peu connus désignés sous le nom général de goudrons; comme produits d'oxydation, la tyrosine et les matières albuminoïdes.

Au point de vue théorique et expérimental, je définis la série aromatique : une série qui comprend les polymères de l'acétylène et leurs dérivés. — Cette définition est déduite d'idées introduites dans la science tout récemment par M. le professeur Berthelot, idées nouvelles fondées sur des preuves expérimentales, en dehors de toute conception vague et hypothétique : c'est à ce point de vue surtout que j'envisagerai la série aromatique, parce que la chimie est une science essentiellement positive, et que les théories fondées sur les faits doivent, dans un enseignement sérieux, être seules prises en considération. Je vous dirai cependant un mot, si le temps me le permet, des ingénieuses conceptions de M. le professeur Kékulé.

Ceci dit, voici la marche que je me propose de suivre dans l'exposition de cette leçon.

1° Classification des principaux représentants de la série aromatique, d'après les fonctions chimiques.

2° Théorie : dérivation par polymérie de l'acétylène; dérivation par homologie; application de cette théorie à la production des carbures par hydrogénation et par réduction.

3° Génération des composés les plus importants de la série, alcools, phénols, aldélydes, acides, etc.

On peut classer ainsi les corps les plus importants qui appartiennent à la série aromatique : 1° carbures d'hydrogène; 2° alcools; 3° aldélydes; 4° acides; 5° éthers; 6° alcalis; 7° amides.

1° Carbures d'hydrogène.

1re série. — Formule générale, $C^{2n}H^{2n-6}$. — Type benzine.

Benzine	$C^{12}H^{6}$.
Benzoène	$C^{14}H^{8}$.
Xylène	$C^{16}H^{10}$.
Cumolène	$C^{18}H^{12}$.
Cymène	$C^{20}H^{14}$.
$C.^{2n}H^{2n-8}$.	
Styrol	$C^{16}H^{8}$.
$C^{2n}H^{2n-12}$.	
Napthaline	$C^{20}H^{8}$.

Voici la série régulière. Mais on doit y rattacher :

Les essences de la formule générale, $C^{20}H^{16}$;
Les bitumes;
Les goudrons;
Le caoutchouc;
La gutta-percha.

2° Alcools et phénols.

Comprennent des corps qui correspondent terme pour terme avec les carbures qui précèdent ou avec d'autres carbures analogues.

Alcools proprement dits.

Le premier terme qui devrait être $C^{12}H^{6}O^{2}$ est inconnu. Puis viennent :

L'alcool benzylique	$C^{14}H^{8}O^{2}$.
.....	
L'alcool cuminique	$C^{20}H^{14}O^{2}$.
.....	
.....	
L'alcool cinnamique	$C^{18}H^{10}O^{2}$.
— anisique	$C^{16}H^{10}O^{4}$.

Phénols.

Monoatomiques :

Phénol	$C^{12}H^{6}O^{2}$.
Crésylol	$C^{14}H^{8}O^{2}$.
Florilol	$C^{16}H^{10}O^{2}$.
(Inconnu)	$C^{18}H^{12}O^{2}$.
Thymol	$C^{20}H^{14}O^{2}$.

Diatomiques (oxyphénols) :

Pyrocatéchine	$C^{12}H^{6}O^{4}$.
Gayacol	$C^{14}H^{8}O^{4}$.
Phénol crésotique	$C^{16}H^{10}O^{4}$.

Triatomiques :

Pyrogallol	$C^{12}H^{6}O^{6}$.
Phénol alizarique	$C^{20}H^{6}O^{6}$.

Peut-être faut-il y rattacher :

La matière colorante au vin	$C^{20}H^{10}O^{10}$.
L'hématine du bois de campêche	$C^{32}H^{14}O^{12}$.
La franguline (du *Rhamnus frangula*)	$C^{12}H^{6}O^{6}$.
La phloroglucine,	$C^{12}H^{6}O^{6}$, etc.

3° Aldélydes.

Monoatomiques :

L'essence d'amandes amères	$C^{14}H^{6}O^{2}$.
L'aldélyde toluique	$C^{16}H^{8}O^{2}$.
.....	$C^{18}H^{10}O^{2}$.
L'essence de cumin (et isomères)	$C^{20}H^{12}O^{2}$.
.....	
L'essence de cannelle	$C^{18}H^{8}O^{2}$.
Le camphre du Japon	$C^{20}H^{16}O^{2}$.

On peut y rattacher l'aldélyde rutique ou essence de rue, $C^{20}H^{20}O^{2}$.

Diatomiques :

L'essence d'ulmaire	$C^{14}H^{6}O^{4}$.
.....	
L'aldélyde anisique	$C^{16}H^{8}O^{4}$.

A côté de ces corps vient sans doute se placer :

Le quinon	$C^{24}H^{8}O^{8}$.
L'aldélyde eugénique	etc.

4° Acides.

1° A fonctions simples.

Acides à quatre équivalents d'oxygène. — Monoatomiques :

$C^{2n}H^{2n-8}O^{4}$.

Acide penténique (*Carius*)	$C^{12}H^{4}O^{4}$.
— benzoïque	$C^{14}H^{6}O^{4}$.
— toluique	$C^{16}H^{8}O^{4}$.
.....	$C^{18}H^{10}O^{4}$.
— cuminique	$C^{20}H^{12}O^{4}$.
$C^{24}H^{24-10}O^{4}$.	
Acide cinnamique	$C^{18}H^{8}O^{4}$.
.....	
Acide anisique	$C^{16}H^{8}O^{6}$.

2° A fonctions mixtes.

Acides à six équivalents d'oxygène. — Diatomiques : 2 séries isomériques.

1re série. — Type : Acide oxybenzoïque.
$C^{14}H^{6}O^{4} + O^{2} = C^{14}H^{6}O^{6}$.

2e série. — Type. Acide salicylique.
$C^{12}H^{6}O^{2} + C^{2}O^{4} = C^{14}H^{6}O^{6}$.

Acides crésotique, tymotique, etc.

Ces acides sont diatomiques ou mieux monobasiques et monoalcooliques, tandis que ceux qui suivent sont monobasiques et dialcooliques.

Acides à huit équivalents d'oxygène. — Triatomiques :

1re série. Acide dioxybenzoïque :
$C^{14}H^{6}O^{4} + O^{4} = C^{16}H^{6}O^{8}$.

2e série. Acide oxysalicylique :
$C^{12}H^{6}O^{4} + C^{2}O^{4} = C^{14}H^{6}O^{8}$.

Digitized by Google

Acides à dix équivalents d'oxygène. — Tétratomiques :

1re série.	2e série.
Acide trioxybenzoïque :	Acide dioxysalicylique (gallique) :
$C^{14}H^6O^4 + O^6 = C^{10}H^6O^{10}$ (inconnu).	$C^{12}H^6O^6 + C^2O^4 = C^{14}H^6O^{10}$.

Tous les acides qui précèdent sont monobasiques dans le sens rigoureux du mot. Mais il existe dans la série aromatique des acides bibasiques; je citerai, comme exemple, l'acide pthalique de Laurent, $C^{16}H^6O^8$, qui peut donner de l'acide benzoïque (Depouilly) :

$$C^{16}H^6O^8 - C^2O^4 = C^{14}H^6O^4;$$

et ce dernier donne la benzine :

$$C^{14}H^6O^4 - C^2O^4 = C^{12}H^6.$$

Il en résulte pour l'acide pthalique le mode de génération suivant :

$$C^{12}H^6 + 2C^2O^4 = C^{16}H^6O^8.$$

Enfin, on rangera sans doute à côté des acides précédents :

L'acide méconique.....	$C^{14}H^8O^{14}$.
— quinique.....	$C^{14}H^{12}O^{12}$.

5° Alcalis et amides.

Les alcalis appartiennent à 2 séries dérivant régulièrement des phénols et des alcools.

1re série (dérivant des phénols).		2e série (dérivant des alcools).
Aniline....	$C^{12}H^7Az$.	
Toluidine..	$C^{14}A^9Az$.	$C^{14}H^9Az$. — Benzylammine.
Xylidine...	$C^{16}H^{11}Az$.	
Cumidine..	$C^{18}H^{13}Az$.	$C^{18}H^{13}Az$. — Cuminammine.
Cymidine..	$C^{20}H^{15}Az$.	

A ces alcaloïdes répondent de nombreux dérivés, tels que des sels, des produits de condensation, d'oxydation, etc.

C'est ainsi que l'aniline donne de la dianiline :

$$2\,(C^{12}H^7Az)\ \text{(Hoffmann)}.$$

On peut aussi en dériver :

L'azobenzide de Mitscherlich.....	$C^{12}H^5Az$.
L'axoxybenzide.....	$C^{12}H^5AzO$.
La benzidine.....	$C^{12}H^6Az$.
La benzine nitrée.....	$C^{12}H^5AzO^4$, etc.

De même, à la toluidine répondent l'éthyltoluidine, la phényltoluidine, l'amyltoluidine, etc.

Enfin, lorsqu'on oxyde un mélange d'aniline et de toluidine, on obtient ces magnifiques matières colorantes si bien étudiées par Hoffmann, telles que les dérivés alcooliques de la rosaniline, le violet Hoffmann, la mauvéine, le rouge Magenta, etc., etc.

Des alcalis qui précèdent, on doit rapprocher les bases isomériques découvertes par Anderson dans l'huile animale de Dippel :

La piridine	$C^{10}H^5Az$.
La picoline.....	$C^{12}H^7Cz$.
La lutine.....	$C^{14}H^9Az$.
La collidine.....	$C^{16}H^{11}Az$.
La parvoline.....	$C^{18}H^{13}Az$.

Ajoutons enfin, comme réaction d'une haute importance au point de vue physiologique, que certains acides aromatiques, en traversant l'économie, se convertissent en amides. C'est ainsi que l'acide benzoïque et ses homologues supérieurs donnent par la fixation du sucre de gélatine :

L'acide benzoïque....	de l'acide hippurique....	$C^{18}H^9AzO^6$.
— toluique.....	— tolurique.....	$C^{20}H^{15}AzO^6$.
— cuminique....	— cuminurique...	$C^{24}H^{15}AzO^6$.

Telle est l'énumération à peu près complète des corps les plus importants que l'on peut comprendre dans la série aromatique.

Il résulte de ce qui précède, que cette série offre en quelque sorte un noyau de composés fondamentaux auquel se rattache par des liens plus ou moins étroits une multitude de composés : les uns d'une façon certaine, comme un grand nombre de matières colorantes; les autres, d'une manière plus problématique, comme les substances albuminoïdes.

Voici ce qui distingue essentiellement les composés aromatiques :

1° Une grande stabilité;

2° Les nombre des équivalents de carbone qui est en général supérieur à 12 équivalents;

3° Le rapport du carbone à l'hydrogène. C'est ainsi que l'hydrogène peut décroître d'une manière graduelle en donnant naissance à des séries régulières; partant de l'hydrure de décyle, on obtient, par exemple :

Hydrure de décyle.....	$C^{20}H^{22}$.
Décylène (paramylène).....	$C^{20}H^{20}$.
Menthène.....	$C^{20}H^{18}$.
Cymène.....	$C^{20}H^{14}$.
.....	
Napthalène.....	$C^{20}H^8$.

Ainsi, à mesure que l'hydrogène diminue, le caractère aromatique des composés qui en résultent se prononce de plus en plus. Théoriquement, les corps ainsi dérivés devraient être de moins en moins saturés, c'est-à-dire fixer un plus grand nombre d'équivalents de chlore; mais l'expérience indique que la loi de saturation est loin de suivre une marche aussi régulière : c'est ainsi, pour ne citer qu'un exemple, que la naphtaline $C^{20}H^8$, qui devait fixer 14 équivalents de chlore, ne s'assimile en réalité que 4 équivalents de cet élément; circonstance importante à noter, puisqu'elle permet, jusqu'à un certain point, de se rendre compte de la grande stabilité de ce carbure.

J'arrive maintenant plus spécialement à l'étude générale des corps aromatiques, en ayant surtout égard à leur mode de génération et en insistant exclusivement sur les données expérimentales, reléguant ainsi dans l'ombre les idées purement spéculatives. Commençons par les carbures d'hydrogène.

Génération des carbures aromatiques.

Ces corps ont une importance extrême, ils doivent être considérés comme les pivots de toutes les séries précédemment énumérées. Aussi bien développerai-je leur étude en m'attachant surtout à leur mode de génération.

Prenons pour point de départ le carbone et l'hydrogène. Combinons ces deux éléments sous l'influence de l'étincelle électrique, suivant la belle expérience de M. le professeur Berthelot, ce qui donnera l'acétylène :

$$C^4 + H^2 = C^4H^2.$$

Eh bien, ce carbure par dérivation polymérique, nous donnera :

1° $3C^4H^2 = C^{12}H^6$ Benzine.
2° $4C^4H^2 = C^{16}H^8$ Styrol.
3° $5C^4H^2 = C^{20}H^{10} = C^{20}H^8 + H^2$.

Ici, messieurs, et j'insiste sur cette circonstance, il ne s'agit pas d'un simple jeu de formules, de rapprochements plus ou moins arbitraires, mais bien de relations précises dont il importe de vous donner des preuves expérimentales.

1° Si, à l'exemple de M. Berthelot, on traite le chloroforme par le cuivre, on obtient de l'acétylène :

$$2C^2HCl^3 + 6Cu^2 = 6Cu^2Cl + C^4H^2.$$

Digitized by Google

2° En remplaçant le chloroforme par le bromoforme, corps analogue, on a :

$$6C^2HBr^3 + 18Cu^2 = 18Cu^2Br + C^{12}H^6.$$

3° D'après les expériences récentes de M. Berthelot, l'acétylène soumis à l'action de la chaleur, donne directement du styrol :

$$4(C^4H^2) = C^{16}H^8 \text{ Styrol.}$$

Il y a ici encore, production simultanée de naphtaline et d'hydrogène.

4° Sous l'influence d'une chaleur plus prolongée et du chlorure de zinc, les condensations sont encore plus profondes, et l'on obtient des corps qui appartiennent à la famille des goudrons.

5° Les carbures $C^{20}H^{16}$ donnent par polymérie des corps analogues au caoutchouc et à la gutta-percha.

Les carbures ainsi formés synthétiquement vont maintenant nous servir de point de départ pour former régulièrement par une suite de réactions systématiques les autres carbures aromatiques :

Soit la benzine $C^{12}H^6$.

Transformons ce carbure en benzine monobromée, et soumettons le composé ainsi obtenu à l'action simultanée de l'éther métyliodhydrique et du sodium, d'après la belle méthode que l'on doit à M. le professeur Wurtz :

$$C^{12}H^5B^2 + C^2H^3I + Na^2 = NaI + NaBr + C^{12}H^4\,(C^2H^4).$$

On obtient ainsi un carbure d'hydrogène :

$$C^{12}H^4(C^2H^4) = C^{14}H^8,$$

identique avec le benzoène, d'après MM. Fittig et Tollens.

Semblablement, le xylène sera du benzoène, dans lequel 4 volumes d'hydrogène auront été remplacés par le même volume de formène, soit 1 équivalent :

$$C^{14}H^8 = C^{14}H^6(H^2)$$
$$C^{14}H^6(H^2) + C^2H^4 = H^2 + C^{14}H^6(C^2H^4) = C^{16}H^{10}, \text{ etc.}$$

Chose curieuse, toujours d'après Fittig et Tollens, si l'on fait réagir sur la benzine bromée non pas successivement deux équivalents d'éther métyliodhydrique, mais bien un seul équivalent d'éther éthyliodhydrique, d'après l'équation suivante :

$$C^{12}H^5Br + C^4H^5I + Na^2 = NaBr + NaI + C^{12}H^4(C^4H^5);$$

on obtient, non le xylène, mais un composé simplement isomérique.

J'ajouterai que la différence des générateurs suffit pour expliquer cette isomérie. On peut également s'en rendre compte en ayant recours aux ingénieuses conceptions de M. le professeur Kékulé; mais comme il s'agit ici d'idées purement spéculatives, je ne crois pas devoir m'y arrêter, préférant renvoyer ceux d'entre vous qui voudraient approfondir cette question et se faire une idée exacte de ces hypothèses, soit aux *Bulletins de la Société chimique*, soit au numéro de juin des *Annales de Physique et de Chimie*, du présent mois (1).

En résumé, les méthodes qui nous ont permis de former synthétiquement les carbures aromatiques conduisent à une théorie générale qui comprend les deux chefs suivants :

1° Dérivation par polymérie au moyen de l'acétylène formé à l'aide des éléments.

2° Dérivation par homologie en prenant pour point de départ les carbures déjà formés.

Je rappellerai pour mémoire que ces mêmes carbures aromatiques s'obtiennent par voie analytique dans un grand nombre de circonstances. C'est ainsi que la benzine prend naissance quand on soumet, soit l'acide benzoïque, soit l'acide pthalique à l'action des alcalis :

$$C^{14}H^6O^4 - C^2O^4 = C^{12}H^6$$
$$C^{16}H^6O^8 - 2C^2O^4 = C^{12}H^6.$$

De même, l'acide cinnamique donne du styrol (cinnamène), etc.

Génération des alcools et des phénols.

On obtient les alcools : 1° au moyen des carbures d'hydrogène; 2° des aldéhydes; 3° des acides.

Dans le premier cas, on peut prendre comme intermédiaire un composé chloré.

Soit le benzoène $C^{14}H^8$. Il donne par le chlore :

$$C^{14}H^7Cl = C^{14}H^6(HCl).$$

Traitons l'éther chlorhydrique ainsi obtenu par un sel organique, l'acétate de potassium, par exemple :

$$C^{14}H^6(HCl) + C^4H^3KO^4 = KCl + C^{14}H^6(C^4H^4O^4).$$

Enfin, soumettant l'éther composé à l'action d'un alcali, on tombe sur l'alcool cherché :

$$C^{14}H^6(C^4H^4O^4) + KHO^2 = C^4H^3KO^4 + C^{14}H^8O^2.$$

En résumé, partant du carbure aromatique $C^{14}H^8$, on obtient l'alcool correspondant en le transformant en un composé chloré, transformant celui-ci en un éther à oxacide, puis décomposant ce dernier par un alcali.

On peut transformer un aldéhyde en alcool, soit par la méthode de M. Wurtz, c'est-à-dire en fixant directement de l'hydrogène :

$$C^{14}H^6O^2 + H^2 = C^{14}H^8O^2;$$

soit par le procédé de Cannizzaro, c'est-à-dire en traitant l'aldéhyde par un alcali :

$$2C^{14}H^6O^2 + KHO^2 = C^4H^5KO^4 + C^{14}H^8O^2.$$

Si l'on prend les acides pour point de départ, on passera par l'intermédiaire d'un aldéhyde, d'après la méthode de Piria :

$$C^{14}H^6CaO^4 + C^2HCaO^4 = C^2O^4 2CaO + C^{14}H^8O^2.$$

La génération des phénols aura lieu soit par l'intermédiaire d'un carbure d'hydrogène, soit par celui des acides.

C'est ainsi que la benzine :

$$C^{12}H^6.$$

donnera par l'acide nitrique la benzine nitrée :

$$C^{12}H^4(AzHO^4)$$

et ce corps, sous l'influence de l'hydrogène naissant, fournira l'aniline :

$$C^{12}H^4(AzHO^4) + H^6 = 2H^2O^2 + C^{12}H^4(AzH^3);$$

enfin, d'après Hunt, l'aniline traitée par l'acide nitreux donnera du phénol :

$$C^{12}H^4(AzH^3) + AzHO^4 = Az^2 + H^2O^2 + C^{12}H^6(H^2O^2).$$

On peut aussi prendre comme intermédiaire l'acide hypochloreux. Cet acide se combine directement à la benzine :

$$C^{12}H^6 + 3(HClO^2) = C^{12}H^6(3HClO^2);$$

le composé ainsi obtenu est une sorte d'éther qui fournit dans des conditions ménagées la phénose de M. Carius ;

$$C^{12}H^{12}O^{12}.$$

Cette réaction est intéressante, car elle semble établir une relation entre les sucres et les composés aromatiques.

Enfin les acides aromatiques, en perdant sous l'influence des alcalis de l'acide carbonique, donnent des phénols :

(1) Voyez aussi : *De l'Isomérie*, par le docteur E. Bourgoin. Savy, 1866.

Digitized by Google

(Acide salicylique).... $C^{14}H^6O^6 - C^2O^4 = C^{12}H^6O^2$ phénol.
— oxysalicylique.. $C^{14}H^6O^8 - C^2O^4 = C^{22}H^6O^4$ oxyphénol.
— gallique..... $C^{14}H^6O^{10} - C^2O^4 = C^{12}H^6O^6$ pyrogallol.

Ce dernier dédoublement, d'après MM. de Luynes et Salet, s'opère même sous la seule influence de la vapeur d'eau surchauffée.

Il faut rapprocher de la génération des phénols la production du méthylphénol ou anisol obtenu par M. Cahours dans la distillation sèche de l'acide anisique en présence de la chaux ou de la baryte :

$$C^{16}H^8O^4 - C^2O^4 = C^{14}H^8O^2.$$

Or :

$$C^{12}H^6O^2 + C^2H^4O^2 - H^2O^2 = C^{14}H^8O^2.$$

En d'autres termes, l'anisol et ses homologues doivent être considérés comme des éthers des phénols.

A côté de ces curieux composés viennent se ranger sans doute un grand nombre de combinaisons naturelles, telles que la salicine et plusieurs autres glucosides.

Génération des aldéhydes.

1° Par la réduction des acides :

$$C^{14}H^6O^4 - O^2 = C^{14}H^6O^2.$$

Plusieurs procédés permettent d'arriver à ce résultat. Je rappellerai seulement ici l'emploi aussi facile qu'avantageux du perchlorure de phosphore :

$$C^{14}H^6O^4 + PhCl^5 = PhCl^3O^2 + C^{14}H^5ClO^2.$$

Reste maintenant à remplacer le chlore par l'hydrogène, soit par le procédé de M. Payen, soit par celui de M. Kolbe, soit enfin par tout autre procédé fondé sur l'emploi de l'hydrogène naissant.

2° Par l'addition de deux aldéhydes.

Tel est le cas de l'aldéhyde cinnamique qui prend naissance, d'après Chiozza, quand on soumet à l'action de l'acide chlorhydrique un mélange d'aldéhyde ordinaire et d'essence d'amandes amères :

$$C^{14}H^6O^2 + C^4H^4O^2 - H^2O^2 = C^{18}H^8O^2.$$

3° Par l'oxydation directe des alcools.

C'est ainsi que M. le professeur Berthelot a transformé le camphre de Bornéo :

$$C^{20}H^{18}O^2$$

en camphre du Japon :

$$C^{20}H^{16}O^2.$$

Génération des acides aromatiques.

Ils s'obtiennent, soit à l'aide des carbures d'hydrogène, soit à l'aide des alcools.

D'abord les acides à 4 équivalents d'oxygène. Prenant pour point de départ un carbure aromatique, on peut passer par l'intermédiaire d'un composé chloré. M. Harnitz-Harnitky traite la benzine par $C^2O^2Cl^2$:

$$C^{12}H^6 + C^2O^2Cl^2 = HCl + C^{14}H^5ClO^2$$
$$C^{14}H^5ClO^2 + H^2O^2 = HCl + C^{14}H^6O^4.$$

M. Carius combine le même carbone à l'acide hypochloreux et traite le produit formé par un alcali, ce qui donne l'acide penténique :

$$C^{12}H^6 + 3HClO^2 = C^{12}H^6(3HClO^2)$$
$$C^{12}H^6(3HClO^2) + 3KHO^2 = 3HCl + 4H^2O^2 + C^{12}H^4O^4.$$

On sait que les alcools se transforment en acides par oxydation directe. Inutile d'insister sur ces réactions devenues classiques.

Une remarque essentielle doit trouver place ici. Quand on dépasse l'acide benzoïque, on peut obtenir non les homologues de cet acide, mais des acides simplement isomériques. C'est ainsi qu'il existe deux acides toluiques :

Acides toluiques. { α (de Strecker)
β (de Noad).

L'acide α a été obtenu en traitant par le baryte l'acide vulpinique du *Cetraria vulpina* :

$$C^{38}H^{14}O^{10} + 4H^2O^2 = C^4H^2O^8 + C^2H^4O^2 + 2C^{16}H^8O^4.$$

On l'obtient aussi synthétiquement, d'après Cannizzaro en partant du benzoène $C^{14}H^8$:

$$C^{14}H^8$$

lequel donne par une suite de réactions réalisées :

$$C^{14}H^7Cl$$
$$C^{14}H^7Cy = C^{16}H^7Az$$
$$C^{16}H^7Az + KHO^2 + H^2O^2 = AzH^3 + C^{16}H^7KO^4.$$

L'acide β toluique se forme quand on oxyde le cymène :

$$C^{20}H^{14}$$

par l'acide azotique bouillant; il paraît être le vrai homologue de l'acide benzoïque. Par les alcalis, il donne de la benzine :

$$C^{16}H^8O^4 - C^2O^4 = C^{12}H^6.$$

Acides à 6 équivalents d'oxygène.

Veut-on transformer l'acide benzoïque en acide oxybenzoïque? On traitera l'acide benzoïque chloré par un alcali :

$$C^{14}H^6O^4 + Cl = C^{14}H^5ClO^4 + H.$$
$$C^{14}H^5ClO^4 + KHO^2 = KCl + C^{14}H^6O^6.$$

Une autre méthode très-curieuse est celle qui a été indiquée par Kolbe et qui consiste à soumettre les phénols à l'action de l'acide carbonique en présence du potassium ou du sodium :

$$C^{12}H^6O^2 + K + C^2O^4 = C^{14}H^5KO^6 + H.$$

On obtient ainsi de l'acide salicylique, isomère avec l'acide oxybenzoïque.

Acides à 8 et 10 équivalents d'oxygène.

Même marche générale :

Partant de l'acide benzoïque

$$C^{14}H^6O^4,$$

on forme le composé bromé :

$$C^{14}H^4Br^2O^4$$

et celui-ci fournira, par les alcalis, l'acide dioxybenzoïque :

$$C^{14}H^6O^8,$$

isomère avec l'acide oxysalicylique dérivé de la pyrocatéchine :

$$C^{12}H^6O^4 + C^2O^4 = C^{14}H^6O^8.$$

Autre exemple :

Soit l'acide salicylique

$$C^{14}H^6O^6,$$

On le transformera, avec M. Lautmann, en un composé iodé :

$$C^{14}H^4I^2O^6;$$

et ce dernier fournira l'acide dioxysalicylique ou gallique :

$$C^{14}H^6O^{10}.$$

J'ajoute, pour terminer ce qui a trait aux acides aromatiques, que quelques-uns d'entre eux ont été obtenus par des méthodes spéciales et très-particulières. Tel est le cas de l'acide cinnamique : d'après Bertagnini, cet acide prend naissance quand on traite l'essence d'amandes amères par le chlorure d'acétyle :

$$C^{14}H^6O^2 + C^4H^3ClO^2 = HCl + C^{18}H^8O^4.$$

Le même acide se forme encore quand on fait réagir le chloracétène sur le benzoate de baryum :

$$C^{14}H^5BaO^4 + C^4H^3Cl = ClBa + C^{18}H^8O^4.$$

Digitized by Google

Génération des alcalis et des amides aromatiques.

Les alcalis s'obtiennent :

1° A l'aide des carbures d'hydrogène. Exemple : la benzine par l'acide azotique donne de la benzine nitrée, et ce corps soumis à des actions réductrices fournit l'aniline;

2° A l'aide des alcools.

$$C^{14}H^{8}O^{2} + AzH^{3} - H^{2}O^{2} = C^{14}H^{9}Az \text{ (benzylammine).}$$

3° Par les phénols :

$$C^{12}H^{6}O^{2} + AzH^{3} - H^{2}O^{2} = C^{12}H^{7}Az \text{ (aniline),}$$

réaction qui s'effectue d'après Laurent en faisant réagir directement l'ammoniaque sur le phénol.

Rappelons ici que M. Griess, en opérant à l'aide d'une liqueur alcoolique, a obtenu des composés extrêmement intéressants, mais sur lesquels je ne puis insister, faute de temps.

Les acides aromatiques fournissent comme dérivés des amides, d'après les règles ordinaires :

$$A + AzH^{3} - H^{2}O^{2}$$
$$- 2H^{2}O^{2}.$$

Citons, comme exemple, l'acide hippurique qui existe normalement dans l'urine de cheval, et dont la synthèse a été faite par M. Dessaignes au moyen du glycolate de zinc et du chlorure de benzoïde :

$$C^{14}H^{5}ClO^{2} + C^{4}H^{4}ZnAzO^{6} = ZnCl + C^{18}H^{9}AzO^{6}.$$

Telles sont, messieurs, les composés les plus remarquables qui font partie du domaine de la série aromatique.

Ce n'est pas dans l'espace d'une leçon que je pouvais nourrir l'espoir de vous exposer d'une façon complète tout ce qui a trait à la question que j'avais à développer devant vous. Au lieu de m'attacher, ainsi que je l'ai fait, à l'exposition des faits fondamentaux, j'aurais pu suivre en quelque sorte une marche opposée, par exemple, m'attacher au côté purement spéculatif de la question : cette leçon, ainsi conçue, eût été sans doute plus facile et surtout plus brillante; mais, à mon sens, elle eût été moins instructive. En effet, ce qu'il faut surtout s'efforcer d'observer dans une science telle que la chimie, c'est de se conformer scrupuleusement et sans hésitation aux saines doctrines de la philosophie positive : ce qui constitue notre science, ce sont les faits, et les vraies théories sont celles qui découlent de la généralisation des faits.

EDME BOURGOIN,
Pharmacien en chef à l'hôpital du Midi.

HOPITAL BEAUJON.

PATHOLOGIE EXPÉRIMENTALE (1).

COURS DE M. G. SÉE.

Les anémies d'épuisement nervo-musculaire (suite).

§ VI. — APPLICATIONS PRATIQUES A L'HYGIÈNE DE L'OUVRIER.

Trois opinions ont été émises sur les effets du travail musculaire.

La première, qui paraissait inattaquable, attribue aux contractions le pouvoir de détruire la substance charnue ; le produit de cette décomposition c'est l'urée, qui se manifeste en excès dans les urines. Si cette première doctrine est vraie, il faut en conclure que les corps protéiques qui seuls constituent les éléments anatomiques ont seuls le privilége de développer le travail mécanique ; l'alimentation de l'ouvrier devra donc être exclusivement animalisée pour réparer ces pertes incessantes. — Mais il est démontré aujourd'hui que la destruction du muscle ne va pas jusqu'au dernier terme de la série rétrograde, c'est-à-dire jusqu'à l'urée, car l'urée n'existe pas dans le muscle et n'augmente pas dans l'urine.

Ces faits négatifs donnèrent naissance à une autre doctrine.

Celle-ci, plus mal édifiée encore que la première, repose sur cette donnée incontestable, que le muscle respire, et que d'une autre part la respiration pulmonaire est activée par la musculation ; — l'oxygène qui pénètre ainsi en plus grande quantité dans l'organisme sert à brûler les graisses, les sucres de la substance musculaire. Voici la déduction qu'on en a tirée : pour remplacer les hydrocarbures qui se détruisent par l'exercice musculaire, les aliments respiratoires, c'est-à-dire les graisses, les matières féculentes et saccharines, en d'autres termes, toutes les substances non azotées sont les plus efficaces; ce sont les vrais producteurs de la chaleur, et par conséquent du mouvement. Cette théorie, qui est subversive de toutes les idées reçues, de toutes les données de l'observation, ne tendrait à rien moins qu'à modifier le régime de l'ouvrier dans le sens le plus fâcheux.

En réalité, les deux doctrines sont erronées et entraînent des conséquences fausses au point de vue de l'hygiène ; elles consacrent toutes deux la division des aliments en plastiques et respiratoires, les uns destinés à former la substance organique, les autres à développer la chaleur. Or nous savons que les éléments plastiques sont souvent déviés de leur usage ; il arrive souvent chez l'homme, et en toute occurence chez l'animal carnivore, qu'ils servent d'aliments respiratoires et thermogénés, même sans avoir servi ni à la formation des tissus ni au développement des forces musculaires, comme le veut Liebig. Le pouvoir plastique ou thermogène des aliments ne saurait être utilisé exclusivement pour le travail.

La troisième doctrine, celle qui est professée par l'École de Munich, est infiniment plus rationnelle et plus féconde en applications pratiques. Cette théorie peut se résumer ainsi : le travail n'use pas les tissus musculaires ni les corps albuminoïdes alimentaires, il produit seulement des modifications moléculaires dans la myosine et la musculine, de manière à les transformer en produits régressifs, tels que la créatine, la créatinine, la sarkine et l'acide urique. Mais la décomposition s'arrête à ces premiers dérivés, elle ne va pas jusqu'à former de l'urée, produit extrême de l'oxydation des tissus ; c'est pourquoi l'urée n'existe pas dans le muscle, et n'augmente ni dans l'organisme, ni dans les urines.

Outre ces principes azotés, il se produit aux dépens de la musculine, du sucre, de l'acide lactique ; puis ces substances se décomposent elles-mêmes, et les corps protéiques en favorisent la destruction ; il en résulte de l'acide carbonique, qui est éliminé en plus grande quantité par le muscle pendant ses contractions que pendant l'état de repos. Ainsi l'usure porte à la fois sur la musculine et la myosine ainsi que sur les substances hydrocarburées. — Ce sont ces métamorphoses et les nouvelles affinités qui provoquent le développement

(1) Voy. les nos 35 et 38.

Digitized by Google

de la chaleur et des forces actives. Bientôt après la contraction le muscle se fatigue, par suite de l'accumulation de ces substances nouvelles, entre autre de l'acide lactique. La circulation enlève à son tour ces agents de l'épuisement, et le muscle se rétablit. — L'exercice musculaire ne produit par conséquent sur l'organisme aucune déperdition persistante, aucun effet nuisible. Or, s'il en est ainsi, la réparation se fera par le régime qui convient le mieux dans l'état sain, c'est-à-dire par le régime mixte, qui couvre à la fois les dépenses d'azote et les dépenses de carbone. Si la nourriture ne renferme pas assez de carbone pour combler le déficit, le résultat est tout aussi fâcheux que si elle ne contenait que toute la quantité nécessaire d'azote; dans le premier cas, l'azote ingéré s'use dans les combustions exagérées et pour ainsi dire en pure perte; si, au contraire, le contingent de carbone est suffisant, tout l'azote est utilisé, et c'est ce qui a lieu dans le régime mixte, composé de viandes et d'albuminates, mêlés avec une certaine quantité ou de graisse, ou de fécule, ou de sucre. L'ouvrier ne doit donc pas se nourrir seulement de chair musculaire comme on l'a conseillé, dans le but de développer les forces; un régime trop substantiel épuiserait ses forces, quoique moins vite qu'un régime qui ne contiendrait pas suffisamment d'azote. — Après avoir été soumis autrefois à une alimentation presque exclusivement hydrocarburée, il tend aujourd'hui à suivre un excès contraire; la vérité est que le maximum d'énergie musculaire correspond au maintien de l'organisme dans les limites naturelles des oxydations; c'est l'hygiène, telle que nous venons de la formuler, qui atteint le mieux ce but. — Pour combattre les donnée de l'empirisme, il fallait cette longue discussion scientifique; mais la solution de ce problème social en valait la peine.

Des anémies par épuisement nerveux.

Les affections de l'âme, les chagrins, les préoccupations, les excès de travail intellectuel, ont toujours été considérés comme des causes de dépérissement et d'anémie; mais on ne s'est jamais enquis du mode d'action de ces conditions morales; il est certain qu'elles ne peuvent agir directement sur la composition du sang; ce liquide ne saurait se modifier que par l'intermédiaire des organes digestifs qui préparent les éléments sanguins, ou bien par l'intervention des glandes hématopoiétiques, comme le foie et la rate, qui transforment les globules blancs en globules rouges. Cela étant admis, on ne peut supposer qu'une diminution de l'innervation de ces divers organes, en d'autres termes un épuisement des nerfs viscéraux; il s'agit donc de savoir comment les nerfs fonctionnent, et comment ils s'épuisent.

Physiologie du fonctionnement et de l'épuisement nerveux. — Le nerf se compose de fibres et de cellules qui sont unipolaires ou multipolaires; les fibres sont constituées par une enveloppe analogue à la substance élastique, par la moelle et un cylindre central appelé axis. L'axis est une substance albumineuse coagulable assez semblable à la myosine; la moelle est une masse fluide, visqueuse, formée par une graisse liquide dont les caractères chimiques n'ont pu être étudiés que dans l'encéphale.

Le chimiste Oscar Liebreich a trouvé récemment dans les centres nerveux un principe défini appelé protagon, dont les métamorphoses isomériques forment l'acide cérébrique décrit par Fremy, l'acide oléophosphorique étudié par Gobley, l'élaïne, la lécithine, en un mot toutes les matières grasses acides ou neutres, phosphorées ou simples, que l'analyse avait démontrées dans le tissu encéphalique. Le protagon est une substance cristallisable, incolore, très-soluble dans l'alcool à chaud, dans les graisses et les huiles éthérées, et insoluble dans l'éther, qui peut servir à son extraction. Traitée par l'eau de baryte cette substance se décompose en acide glycérinophosphorique, en acide stéarique et une base que l'auteur appelle neurine.

Outre le protagon on constate, comme dans les muscles, des dérivés protéiques, la créatine, l'acide urique, la leucine; d'une autre part, des produits non azotés (acide lactique, inosite); enfin des sels minéraux, principalement des phosphates alcalins.

Applications pratiques. — Cette énumération seule suffit pour faire voir l'analogie de composition, et par conséquent de fonctionnement des systèmes nerveux et musculaire. L'innervation sensorielle doit donc s'accompagner d'oxydation comme la musculation. C'est là une cause d'épuisement; il n'est donc pas étonnant que l'excès de fonctionnement, qui se lie intimement à ces métamorphoses chimiques et à des modifications électro-toniques, finisse par épuiser l'action des nerfs.

Mais ce n'est pas la seule cause; les nerfs ont avec les centres nerveux des connexions qui sont à la fois fonctionnelles et nutritives; si l'on coupe, ou mieux si l'on excise un nerf moteur, on voit, dès le quatrième ou le cinquième jour, se développer sur la portion périphérique du nerf une véritable dégénérescence et caractérisée par la coagulation, la segmentation de la moelle, la disparition des deux contours propres à chaque tube nerveux. Lorsqu'il s'agit des nerfs moteurs, c'est le bout périphérique qui seul subit cette altération; si bien qu'on peut toujours à ce seul caractère reconnaître le nerf moteur dégénéré; s'il s'agit des nerfs sensitifs, la dégénérescence ne frappe que le segment central; enfin, quand on coupe le sympathique cervical, on voit dégénérer le filet, qui monte vers le ganglion supérieur (c'est donc un filet moteur), tandis que les fibres qui vont du ganglion à l'encéphale restent normales. On peut donc dire, que pour tous les nerfs il existe un centre de nutrition : pour les nerfs moteurs il réside dans la partie des racines antérieures situées près de la moelle; pour les nerfs sensibles, c'est dans les ganglions intervertébraux; enfin pour le sympathique, ce sont les ganglions sympathiques eux-mêmes qui agissent, au moins sur les filets moteurs, comme foyers nutritifs.

Ainsi il est démontré que les nerfs ne peuvent fonctionner qu'à la condition de n'être pas surexcités, et en deuxième lieu, de rester en connexion avec les centres nutritifs. — Or, lorsque le cerveau est surexcité, ce n'est pas une raison pour que les nerfs sympathiques et pneumogastriques, qui en sont jusqu'à un certain point indépendants, subissent le même sort; il ne reste donc que la deuxième hypothèse à discuter. Supposons en effet que l'encéphale soit fatigué par le travail intellectuel, par des préoccupations incessantes, des passions concentrées; supposons que l'innervation de la moelle s'use par les abus sexuels; dans ces divers cas les centres cérébro-rachidiens s'épuisent dans leur action, au point de subir une sorte de paralysie; ils se trouvent pour ainsi dire séparés des nerfs périphériques, qui dès lors sont privés de leurs foyers de nutrition; ces nerfs ainsi isolés de leurs sources se dégradent, sinon, dans leur texture, au moins dans leurs fonctions.

Digitized by Google

Que cette dégradation vienne à atteindre les nerfs sympathiques et pneumogastriques, toutes les grandes fonctions de la vie vont se modifier ; le cœur et le poumon cessent d'agir selon le rhythme normal ; la circulation éprouve des stases dans les glandes vasculaires, et la formation des globules devient défectueuse.

D'une autre part, l'innervation des organes digestifs par ces mêmes nerfs venant par les mêmes motifs à subir une atteinte grave, l'appétit se perd, la muqueuse gastrique sécrète une mucosité qui entrave la digestion, et d'une autre part l'intestin subit des contractions exagérées avec tendance à la diarrhée. Ce sont là autant d'obstacles à l'assimilation des aliments, et par conséquent à la reconstitution des éléments du sang. Je ne fait qu'émettre une hypothèse ; mais c'est la seule conciliable avec la physiologie ; c'est la seule aussi qui se prête aux déductions pratiques. Lorsqu'un individu est épuisé par le travail ou par les impressions morales, et que la fatigue cérébrale a produit ses effets, pour en arrêter le progrès, il n'est pas de moyen plus sûr que de faciliter l'absorption par un régime à la fois stimulant et substantiel, car en dernier ressort il s'agit de guérir une anémie d'inanition.

Toutes ces données physiologiques s'appliquent aux états nerveux morbides ; l'hystérie et l'hypochondrie finissent souvent par amener un véritable dépérissement, et c'est en troublant les fonctions digestives ; or, chez les hystériques et surtout les hypochondriaques, l'encéphale est tourmenté par des impressions qui le séparent pour ainsi dire du reste du système nerveux, de sorte que les fonctions auxquelles président les nerfs vagues et sympathiques sont privées de leur influx normal, et cessent de s'exercer.

G. Sée.

FIN DU COURS.

MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE.

PHYSIOLOGIE COMPARÉE.

COURS DE M. VULPIAN (1).

De la sécrétion de la salive.

A peine introduites dans la cavité buccale, les substances alimentaires, chez un bon nombre d'animaux, sont ingurgitées et dégluties. Mais chez la plupart il existe une fonction intermédiaire qui a pour but de verser dans la cavité buccale pendant la mastication certains liquides dont les aliments s'imbibent. Ces liquides spéciaux constituent la salive. Suivant quelques auteurs, elle n'aurait d'autre usage que de faciliter la mastication, mais pour d'autres la salive jouerait un rôle très-actif dans la digestion des aliments amylacés.

Le fluide salivaire est le produit de la sécrétion opérée par les glandes dites salivaires, glandes existant non-seulement chez les Vertébrés, mais chez un bon nombre d'Invertébrés. De ces glandes, les unes sont des dépendances immédiates de la membrane muqueuse buccale, les autres sont des organes tout à fait distincts et qui ne communiquent avec la cavité de la bouche que par des canaux plus ou moins longs.

Au point de vue de l'anatomie comparée, je vous dirai que chez les Poissons, excepté chez la Lamproie, il n'y a pas de glandes salivaires véritables : l'eau qui remplit le rôle de la salive. Chez les Batraciens, on ne trouve que des glandules buccales, dans la membrane muqueuse de la langue, par exemple. Chez les Reptiles on ne rencontre aussi que des glandules buccales ; cependant on trouve chez les Tortues des sortes de glandes sublinguales et chez les Serpents des glandes labiales.

Les Oiseaux qui prennent leur nourriture dans l'eau n'ont que des glandes salivaires rudimentaires ; chez les autres animaux de la même classe, ce sont surtout les glandes sublinguales qui sont développées. Parmi les Mammifères, on ne trouve pas de glandes salivaires véritables chez les Cétacés, et chez les Phoques elles sont très-réduites ; mais elles sont très-développées chez les autres représentants de ce groupe, surtout chez les Herbivores.

Ces glandes, au point de vue anatomique, sont de deux sortes. Les unes sont dites *muqueuses ;* on les rencontre à la face muqueuse des lèvres ; sur la face interne des joues, au niveau des dents molaires, elles se trouvent en nombre variable, parfois elles peuvent s'agglomérer et former à cet endroit de petites glandes composées. Enfin, on en trouve aussi vers la langue. Leur structure est très-simple : ce sont des glandes acineuses ; par conséquent elles offrent d'abord un petit canal qui vient s'ouvrir dans la bouche, puis ce canal en pénétrant dans l'épaisseur de la muqueuse se ramifie un certain nombre de fois, et les extrémités de ces ramifications se terminent en culs-de-sac vésiculiformes. Il résulte de cette conformation que la glandule représente une petite grappe de raisin. Les vésicules terminales sont tapissées d'un épithélium pavimenteux, tandis que les conduits sont tapissés d'un épithélium cylindrique. Il y a de plus, comme dans toutes les glandes, des nerfs et des vaisseaux, mais aucun élément musculaire.

Les autres glandes salivaires, ou glandes salivaires proprement dites, ne sont, en réalité, que des complications des précédentes. Il suffit pour comprendre leur disposition de supposer la réunion de plusieurs glandes muqueuses, dont les canaux viennent se réunir successivement les uns aux autres, pour former en définitive un conduit terminal unique qui verse dans la bouche le fluide salivaire.

Chez l'homme et chez la plupart des Mammifères, il y a trois paires de glandes salivaires composées : les parotides, les glandes sous-maxillaires et les glandes sublinguales.

Les parotides sont situées derrière la mâchoire inférieure, et leur canal excréteur, bien décrit en 1660 par Sténon, porte le nom de cet homme célèbre, bien qu'il eût été découvert avant lui. Ce canal suit un trajet un peu différent chez certains animaux ; mais chez l'homme, le chien, le mouton par exemple, après avoir passé sur le muscle masséter en croisant presque à angle droit la direction de ses fibres, il perce le buccinateur et s'ouvre obliquement sous la muqueuse de la joue, à peu près au niveau de la seconde grosse molaire supérieure.

Les glandes sous-maxillaires sont situées au-dessous et quelquefois un peu en arrière de la mâchoire inférieure, et leurs canaux excréteurs (canal de Wharton) vont s'ouvrir des deux côtés du frein ; enfin, les glandes sublinguales situées au-dessous de la langue vont déverser leurs produits par un canal excréteur qui va s'ouvrir à côté du canal de Wharton, c'est le canal de Rivinus ou de Bartholin ; mais il y a, en outre, une foule de petits canaux décrits par Nuck et par Wharton qui vont s'ouvrir en suivant un trajet plus ou moins vertical, sur les côtés du plancher de la bouche.

(1) Voy. les nos 32, 33 et 37.

Digitized by Google

Outre ces glandes, il convient de rappeler que l'on trouve des glandes salivaires composées d'un bien moindre volume, par exemple les *glandes de Blandin*, décrites de nouveau plus récemment par Nuhn, glandes formées par la réunion de glandules sous-muqueuses et situées sur les côtés du frein de la langue : on sait encore que des glandules situées sous la membrane muqueuse des joues se réunissent aussi en plusieurs petites glandes composées, les *glandes molaires*, et je vous montre une préparation qui vous fait voir la disposition remarquable de la glande molaire chez le chien, glande très-volumineuse, située au niveau du bord antérieur du muscle masséter, et qui remonte sous l'apophyse zygomatique jusqu'au-dessous de l'œil. Cette glande verse son produit de sécrétion par un conduit qui s'ouvre sur la membrane muqueuse de la joue.

Je crois devoir m'en tenir à cette rapide énumération anatomique faite uniquement pour rendre mes explications intelligibles, et je ne dirai rien de la structure intime, car elle est, au fond, la même que celle des glandes salivaires : j'arrive immédiatement à la physiologie de ces glandes.

Pendant longtemps on n'a étudié que la salive mixte produite par la réunion des liquides excrétés par ces différentes glandes. Or, bien que l'anatomie ne signale qu'une structure identique pour ces divers organes, nous allons constater des différences radicales dans les produits de la sécrétion, et j'attire à dessein votre attention sur ce fait qui doit vous montrer toute la prééminence de la physiologie sur l'anatomie.

C'est sur le canal de Sténon que fut faite, en 1780, par Hapel de la Chenaie, la première tentative pour recueillir isolément le produit de sécrétion d'une des sortes de glandes salivaires ; et cet essai fut institué sur le cheval dont le conduit salivaire offre un calibre assez considérable, puisqu'on peut y introduire un tube de 4 ou 5 millimètres de diamètre.

Tiedemann et Gmelin isolèrent le canal de Sténon à son entrée dans la bouche, mais ils pouvaient par ce procédé être induit en erreur par la présence accidentelle d'une petite glande génienne qui se trouve sur le trajet du conduit de Sténon, et qui donne à la salive une consistance visqueuse.

En 1847, M. Cl. Bernard obtint pour la première fois du liquide des glandes sous-maxillaires et sublinguales qui ont été confondues chez les Carnivores en une seule glande, par plusieurs auteurs, entre autres par MM. Bidder et Schmidt.

Dans ces grosses glandes, le moyen le plus simple d'obtenir du suc salivaire de chacune d'elle consiste à faire une incision au conduit, et à y introduire un petit tube de métal. Pour les glandes muqueuses on place une ligature sur tous les conduits des grosses glandes, et après avoir excité la sécrétion, c'est dans l'œsophage que l'on va recueillir la salive.

Vous comprenez comment on peut ainsi étudier l'action physiologique de chaque salive, outre l'étude toujours facile de la salive mixte formée par la réunion de tous les produits des glandes salivaires. Or, M. Cl. Bernard a divisé les salives en trois groupes physiologiques, suivant que leurs produits servent à la mastication, à la gustation, ou à la déglutition. Cette division est évidemment artificielle ; mais elle a cependant le mérite d'être partiellement exacte et de rappeler des caractères importants de ces produits de sécrétion.

Aux fonctions de mastication se rattache la glande parotide. Le volume et le développement de cette glande sont dans un rapport étroit avec l'importance et l'intensité de la mastication. Cette glande est d'autant plus développée que les aliments sont tirés plus particulièrement du règne végétal, et qu'ils sont en outre plus durs et plus secs.

Ainsi, la parotide n'existe que chez les animaux qui ont des dents pour broyer les aliments. Elle est très-peu développée chez les Fourmiliers, et semble manquer complétement chez l'Échidné. Les oiseaux qui ne mâchent pas leurs aliments n'ont pas de parotide ; le Phoque, qui prend toujours ses aliments imprégnés de liquide, n'a que des glandes parotides rudimentaires, tandis que cette glande est très-développée chez le Castor et chez les Ruminants.

Pour se rendre un compte exact de cette harmonie physiologique, il suffit de comparer le poids de cette glande chez le cheval et chez le chien. Chez le premier la parotide pèse 400 grammes et la glande sous-maxillaire 86. La proportion est donc entre les deux glandes presque comme 5 est à 1, tandis que chez le chien, il n'y a que fort peu de différence et encore est-ce au profit de la glande sous-maxillaire, puisque celle-ci pèse environ 13 grammes et la parotide seulement 12.

De plus, la sécrétion parotidienne se produit spécialement sous l'influence des mouvements de mastication ; et ce n'est pas seulement sur le chien, le cheval, la brebis, que ce fait a été constaté ; l'observation est venue aussi le démontrer pour l'homme. Il s'est présenté des cas de division du canal de Sténon. Or, la salive s'écoulait au dehors sur la joue, surtout au moment où l'on faisait exécuter des mouvements de mastication. Cette sécrétion est donc à peu près complétement intermittente.

M. Colin a publié en 1854, dans son *Traité de physiologie comparée des animaux domestiques*, des faits très-intéressants relatifs à cette influence de la mastication sur la sécrétion parotidienne. Le cheval mâche alternativement pendant un certain temps d'un côté puis de l'autre ; or, si l'on place des tubes de façon à recueillir la salive parotidienne des deux côtés, et si l'on donne à manger à l'animal, on voit que la salivation est constamment plus abondante du côté où a lieu la mastication. Ainsi du côté qui servait à la mastication, M. Colin recueillait 910 grammes de salive et 200 du côté opposé. Puis le sens de la mastication ayant changé on recueille dans le même temps 700 grammes du second côté et 250 du premier.

Au début de la mastication, la salive coule avec plus d'abondance, puis la sécrétion se ralentit peu à peu. Il semblerait que la glande éprouve une sorte de fatigue ou plutôt que l'effet produit par l'excitation initiale va en s'affaiblissant de plus en plus.

La nature des aliments qui doivent être broyés, ainsi que leur condition physique, a aussi de l'influence sur les quantités de salive excrétées ; si les aliments sont secs, la salive est versée en plus grande abondance dans la bouche que si l'animal prend pour aliments des matières humides. D'autre part, si, par une fistule, on soustrait une certaine quantité de salive parotidienne à l'animal, le temps employé à la mastication devient plus considérable.

Dans cette dernière condition aussi, lorsque l'on fait écouler au dehors une certaine quantité de salive les liquides de l'organisme sont diminués, et alors il se fait sentir un besoin de réparer cette diminution. Dans ce cas, la soif est exagérée.

Telles sont les expériences qui montrent d'une façon très-nette le but de la sécrétion de la salive parotidienne : mais l'étude de cette salive ne peut se borner à cette donnée, et il est nécessaire d'exposer les caractères physiques et chimi-

Digitized by Google

ques de ce produit de sécrétion. Pour l'obtenir différents moyens ont été employés. Tiedemann et Gmelin pour cela disséquaient le conduit de Sténon et le suivaient jusqu'à son entrée dans la bouche, ils faisaient ensuite passer cette extrémité par la plaie de la joue; mais, comme je vous l'ai dit, ils n'obtenaient pas toujours de la salive absolument pure. M. Cl. Bernard, depuis 1847, se sert d'un procédé qui permet d'obtenir exclusivement le liquide de la glande parotide. Voici comment M. Cl. Bernard décrit son procédé. On suit avec le doigt le bord inférieur de l'arcade zygomatique jusqu'à sa racine inférieure et antérieure, qui s'insère sur l'os maxillaire en formant une courbure à convexité postérieure. Dès qu'on est arrivé à l'extrémité de cette arcade on sent une petite dépression qui se trouve au niveau de la deuxième molaire supérieure entre la saillie que forme l'alvéole de cette dent et l'insertion de l'arcade zygomatique.

Dans ce point, et exactement au niveau de cette dépression, on fait une incision oblique et dirigée de l'angle interne de l'œil vers la commissure buccale. On divise le tissu cellulaire sous-cutané, et l'on trouve dans un seul paquet la veine, l'artère faciale, un nerf et le conduit salivaire. Ce dernier est d'un blanc nacré, et il se reconnaît en ce qu'il est le plus profondément situé et croise la direction du paquet vasculo-nerveux. Dès qu'on a isolé le canal, on fait une incision à ses parois qui sont très-épaisses comparativement à celle des conduits des autres glandes salivaires, et l'on introduit dans son intérieur un petit tube d'argent. Il faut avoir soin de faire pénétrer ce tube assez profondément si l'on veut être à l'abri de la cause d'erreur qui en a imposé à Tiedemann et Gmelin.

On a eu fréquemment l'occasion d'observer chez l'homme des fistules salivaires, ou bien une obstruction du canal de Sténon causée par des oreillons ou par des abcès survenus pendant le cours d'une fièvre typhoïde, comme celle que Ph. Bérard a observé chez son père. Dans ce cas, on voit sur la joue, du côté où le canal est oblitéré, une rosée salivaire qui paraît avec d'autant plus d'abondance que les aliments mâchés à ce moment le sont avec plus de difficulté.

Puisque nous pouvons obtenir de la salive parotidienne pure, il sera facile d'en examiner les propriétés chimiques et physiques. Je vous en présente une qui a été obtenue par une fistule chez un chien, et vous voyez qu'elle est fluide et limpide; mais dans peu de temps elle perd en partie cette limpidité et se trouble légèrement. De plus on observe souvent à sa surface une légère pellicule blanchâtre quelque temps après son écoulement. Ce dépôt est dû sans doute à ce que les bicarbonates de la salive perdent une partie de leur acide carbonique au contact de l'air, ce qui donne naissance à un carbonate insoluble qui se précipite au moins en partie.

La densité de la salive chez l'homme varie de 1,006 à 1,008. Ces variations, on le comprend, peuvent s'observer sur le même individu. Elles sont en rapport avec le temps qui se sera écoulé depuis le dernier repas, et surtout avec la quantité de liquides introduits depuis peu de temps dans l'économie.

La salive parotidienne est alcaline, ce fait est admis par tous les observateurs. Cependant quelques-uns ont cru voir que la salive qui s'écoulait d'une fistule présentait parfois une réaction acide. Il ne faudrait rien en inférer au point de vue de l'alcalinité de la salive. Cette réaction était due à la suppuration des bords de la fistule qui touchaient le papier de tournesol lorsqu'on voulait le mettre en contact avec la salive excrétée. L'alcali de la salive varie au dire de Tiedemann et Gmelin. Chez l'homme ce serait presque exclusivement de la potasse, tandis que chez le chien et la brebis ce serait de la soude avec très-peu de potasse.

Le rapport entre les matériaux solides de la salive et l'eau a été déterminé par bien des expérimentateurs. En prenant le chiffre le plus élevé, celui qui a été déterminé par Tiedemann et Gmelin, chez le chien on trouve sur 100 parties :

Eau	97,842
Matières solides	2,057

Ces matières solides sont constituées par des substances organiques et par des substances inorganiques, celles-ci formant environ les deux tiers de la quantité totale des substances solides.

Les matières organiques de la salive parotidienne sont constituées principalement par de la ptyaline. Cette substance, d'après M. Lehmann, se trouve dans la salive à un état de combinaison soluble avec l'alcali de la salive. Les matières inorganiques sont le chlorate de potasse, le carbonate et le phosphate de chaux, le bicarbonate de potasse, et enfin le sulfocyanure de potassium.

Y a-t-il de l'albumine dans la salive parotidienne? Vous pouvez voir que, lorsque dans ce tube qui contient de la salive, je verse de l'acide nitrique, il se forme un précipité, et l'on a même déterminé la quantité d'albumine constituant ce précipité, qui se rencontrerait surtout dans la salive de cheval; mais on a aussi indiqué la présence de la caséine. En traitant de la salive séparément par un excès de sulfate de soude cristallisé et par un excès de sulfate de magnésie cristallisé, M. Cl. Bernard expérimenta les deux liquides obtenus ensuite par le filtrage. Or, le liquide traité par le sulfate de soude se coagulait encore sous l'influence de la chaleur, tandis qu'il n'en était pas de même du liquide traité par le sulfate de magnésie; la matière albuminoïde avait donc été retenue complétement sur le filtre, ce qui la rapproche de la caséine; mais elle s'en éloigne en ce qu'elle se coagule par la chaleur.

Parmi les substances salines, le sulfocyanure de potassium indiqué par des observateurs n'a pas été constaté dans la salive parotidienne directement par les sels ferriques, ce n'est qu'après l'avoir traitée par l'alcool et lui avoir fait subir diverses manipulations qu'on a montré sa présence, de sorte qu'il est encore permis de douter qu'elle soit normale.

D'autres questions doivent être traitées à propos de l'influence nerveuse sur la sécrétion de la glande parotide, mais je réserve cette étude pour la suite, et je désire auparavant vous parler des autres glandes salivaires. Je suis entré à propos de la parotide dans beaucoup de détails qui me permettront d'être plus bref pour les autres, et je me contenterai de vous indiquer surtout leurs caractères différentiels.

Vous savez où se trouvent les glandes sous-maxillaires qui, par le conduit de Wharton, vont déverser le produit de leur sécrétion des deux côtés du frein de la bouche. Je n'ai rien à vous dire de particulier sur leur structure, c'est une glande en grappe dont les culs-de-sac sont tapissés d'un épithélium pavimenteux et les conduits d'un épithélium cylindrique.

La sécrétion des glandes sous-maxillaires, comme l'a montré M. Cl. Bernard, est, à n'en pas douter, en rapport avec la gustation. La preuve est très-facile à donner. Voici un chien qui porte un tube dans son canal de Wharton. Nous plaçons dans la bouche du vinaigre, et vous voyez qu'à l'instant la salive coule en abondance par le tube: elle est visqueuse comme vous pouvez le reconnaître facilement, et sa viscosité aug-

Digitized by Google

mente en y versant quelques gouttes de solution de perchlorure de fer, au point qu'elle perd toute fluidité.

Or, cette salive est moins fluide que la salive parotidienne, bien que l'animal n'ait point de mouvements de mastication. Si l'on abandonne ce liquide à l'air, il se prend parfois en masse d'apparence gélatineuse, mais ne laisse pas déposer de petits cristaux de carbonate de chaux bien qu'il contienne de ce sel, et l'on n'y voit pas non plus cette pellicule blanchâtre que je vous ai montrée sur la salive parotidienne. Enfin, lorsqu'on la traite par la chaleur ou par l'acide nitrique, elle ne présente pas de coagulation.

Elle est alcaline comme la sécrétion parotidienne.

Quant au sulfocyanure de potassium que l'on rencontre, ainsi que nous le dirons plus tard, dans la salive mixte, on ne le retrouve pas dans la salive des glandes sous-maxillaires.

Nous avons dit que la sécrétion de ces glandes est liée à la gustation; mais il est intéressant de savoir si toutes les saveurs ont la même influence sur le phénomène. Si l'on introduit du vinaigre dans la gueule d'un chien après avoir placé un tube dans son canal de Wharton, aussitôt une salive claire et limpide s'échappe des glandes en si grande abondance qu'elle semble couler par un jet continu. On peut donc affirmer déjà que les saveurs acides sont celles qui ont le plus d'influence sur cette sécrétion. Mais, si au vinaigre on substitue de la potasse, on remarque un effet moins considérable qu'avec le vinaigre. L'eau ne paraît pas exercer la moindre action sur les glandes sous-maxillaires, alors même que cette eau est additionnée d'une quantité considérable de sucre; et enfin, la coloquinte, bien qu'elle ait, comme vous le savez, une saveur très-prononcée d'amertume, viendrait dans cette liste par ordre de puissance se placer après la potasse, et, bien entendu, avant l'eau. Si le Chien sur lequel on expérimente porte trois tubes, un dans chaque conduit salivaire, on voit que la quantité de salive qui s'échappe par le tube du canal de Wharton dans les expériences que je viens de relater sont, et de beaucoup, en plus grande quantité. Il s'en écoule une fois autant que de la glande parotide, et environ huit fois plus que des glandes sublinguales.

M. Cl. Bernard a voulu pousser plus loin les preuves de l'usage physiologique de ces glandes, et il a emprunté ses arguments à l'anatomie comparée. Nous voyons, dit-il, la glande sous-maxillaire disparaître là où la gustation n'a plus besoin de s'accomplir. Chez les Carnivores, la sous-maxillaire est très-développée, tandis que chez les oiseaux granivores elle disparaît presque complétement. Cette preuve n'a guère de consistance, car, si cette loi est vraie, pourquoi la glande sous-maxillaire est-elle si développée chez les Fourmiliers, chez lesquels les deux glandes, celle du côté droit et celle du côté gauche, se réunissent entre elles sur le devant du cou et s'étendent jusque sur la moitié antérieure du thorax et autour des épaules. Il faut chez les animaux tenir compte des propriétés agglutinatives du liquide sécrété par ses glandes. Ces propriétés sont mises à profit pour réunir en masse, en bol alimentaire, des parcelles alimentaires.

Enfin, il me reste à vous dire deux mots sur un point qui appartient plutôt à la pathologie qu'à la physiologie. On n'a jamais observé de fistule du canal de Wharton chez l'homme; mais on observe parfois un kyste qui se développe à son embouchure, et que l'on a considéré comme produit par l'oblitération de ce canal. En effet, lorsqu'on incise les parois de ce kyste, on trouve dans l'intérieur un liquide filant assez analogue à la salive sous-maxillaire. Cette ressemblance en avait imposé aux auteurs; et ils avaient considéré la grenouillette comme toujours produite par l'obstruction du canal. Or, expérimentalement, on ne peut pas produire cette tumeur chez les animaux, et lorsqu'on place une ligature dans la dernière partie du canal, on observe une dilatation qui porte sur toute la portion du canal qui est derrière la ligature. De plus la simple observation montre dans certains cas que sur la tumeur on peut apercevoir l'ouverture du canal parfaitement nette et indépendante de la grenouillette. Mais je ne veux pas m'appesantir davantage sur une question qui regarde plutôt les chirurgiens que les physiologistes, et j'arrive aux glandes sublinguales.

Des auteurs, et entre autres MM. Bidder et Schmidt, avaient nié l'existence de ces glandes chez les Carnivores, et le Chien en particulier; ils avaient été trompés par la proximité des deux canaux et avaient cru qu'il y avait entre les glandes sublinguales et les sous-maxillaires une véritable fusion. M. Cl. Bernard a démontré que cette fusion était plus apparente que réelle, car il suffit d'injecter dans les deux conduits des substances de couleurs différentes pour en démontrer l'indépendance. M. Cl. Bernard a de plus démontré l'existence de cette glande chez le Surmulot, ce que M. Duvernoy avait contesté.

Telle est la viscosité du liquide sécrétée par cette glande qu'il semble ne pas pouvoir couler par le tube placé dans le canal sublingual de ce chien. Vous voyez que ce liquide adhère comme de la glu à tous les corps mis en contact avec lui. Ce liquide, examiné au point de vue chimique, donne une réaction alcaline et n'est coagulable ni par la chaleur ni par les acides. Sur 1000 parties d'eau il contient :

Matières organiques solubles dans l'alcool		1,5.
Matières inorganiques.	Chlorure de sodium...	6,13.
	— de calcium...	
	Phosphate de soude ...	
	— de chaux...	
	— de magnésie.	

Mais le grand caractère qui distingue cette salive, c'est la présence en grande proportion de la substance que Berzelius a nommée ptyaline, et dont les caractères sont de n'être coagulable ni par la chaleur, ni par les acides, ni par les sels métalliques, ni par le tannin; desséchée, elle peut encore être dissoute et reprendre son apparence visqueuse.

M. Cl. Bernard considère la glande salivaire comme destinée à sécréter du mucus et la range dans le groupe des glandes mucipares. C'est aussi à ce groupe qu'il rattache la glande de Nuck, ainsi qu'une glande qui se trouve chez le lapin dans l'épaisseur de la joue, immédiatement au-dessus de la mâchoire inférieure, au devant des masséters.

Ce qu'il y a d'intéressant dans l'histoire des sécrétions en général et dans celle de la sécrétion salivaire en particulier, c'est que les infusions du tissu des glandes donnent un liquide qui possède les mêmes propriétés que les liquides recueillis directement. Il est évident que dans les glandes, il se forme par un travail particulier une substance spéciale, qui est ensuite éliminée et versée dans la bouche. Nous avons fait de ces infusions avec des glandes de chien, et vous pouvez vous assurer que les liquides ainsi obtenus ne diffèrent en rien de ceux que nous avons recueillis en introduisant des tubes dans les conduits salivaires. Vous voyez que le liquide provenant de l'infusion des glandes parotides est fluide comme de l'eau; que celui qui provient de l'infusion des glandes sous-maxil-

Digitized by Google

laires est visqueux; et enfin, que le liquide d'infusion des glandes sublinguales l'est encore bien davantage.

J'en ai fini avec l'histoire de chaque glande salivaire considérée séparément, et il faut maintenant étudier la salive mixte. Celle qui est produite par la réunion des produits de la parotide, des glandes sous-maxillaires et sublinguales, et des glandes muqueuses. Tel est, en effet, le liquide qui se trouve dans la cavité buccale, et qui doit chimiquement et mécaniquement intervenir dans la digestion.

Je n'ai pas besoin de vous dire combien il est facile de se la procurer pour l'étudier : il suffit pour cela de cracher. Mais les moyens employés pour l'obtenir en plus grande quantité ne sont pas indifférents; ainsi les moyens chimiques peuvent communiquer à la salive un certain degré d'impureté ; les moyens mécaniques tels que le bâillement, la titillation du voile du palais, ou bien encore les moyens psychiques, tels que la pensée ou la vue d'un mets agréable, valent mieux. Au moment où elle est obtenue, elle représente un liquide spumeux, trouble, qui se clarifie par le filtrage ou par le simple repos. Dans ce dernier cas, la salive se sépare en trois parties : une première couche spumeuse, ocrée, une deuxième claire, limpide, et enfin, une troisième qui tombe au fond du vase et qui est composée par les éléments les plus hétérogènes. On y trouve au microscope des débris de cellules épithéliales provenant de la muqueuse de la bouche, des globules pyoïdes, des globules de graisse et des parcelles alimentaires. Après le filtrage, la salive est limpide, sa densité un peu augmentée par la sécrétion sous-muqueuse varie de 1,004 à 1,009.

La réaction de la salive mixte est franchement alcaline; cependant dans certains cas physiologiques ou pathologiques on a constaté une réaction acide. C'est à tort cependant qu'on a cherché là un caractère morbide de quelque valeur. Au point de vue de sa composition chimique, la salive mixte contient chez l'homme de 986 à 993 d'eau sur 1000. Vous trouverez dans les auteurs des discussions sur les variations que peut subir cette quantité d'eau suivant l'âge et aussi sous l'influence des maladies ou de certains traitements; mais je dois vous prémunir contre ces théories qui n'ont aucune valeur scientifique.

Les matières solides contenues dans la salive sont des matières organiques et des matières inorganiques. Les premières sont constituées par de l'albumine, de la caséine, de la graisse, du mucus, et enfin, de la ptyaline ou diastase salivaire. Les sels sont les chlorures de potassium, de sodium, des sels de magnésie, un peu de fer, des phosphates et carbonates de chaux, et enfin, du sulfocyanure de potassium.

L'existence de l'albumine dans la salive mixte est très-douteuse; traitée par la chaleur ou par l'acide nitrique, elle ne donne que rarement, du moins chez l'homme, un précipité reconnaissable. Je passe sur la présence des cellules épithéliales et des globules pyoïdes pour en venir à la substance la plus intéressante que l'on rencontre dans la salive mixte. Nommée par Berzelius *ptyaline*, elle fut appelée plus tard *diastase salivaire*, elle jouit de la propriété remarquable de transformer l'amidon hydraté en sucre, à une température de 30 à 40 degrés centigrades. Cette propriété, découverte en 1831 par Leuchs, fut signalée de nouveau en 1836 par M. Schwann ; mais c'est surtout à M. Mialhe qu'on doit de bien connaître la matière en question, car c'est lui qui en 1845 nous a appris à l'isoler. Sa composition chimique est mal définie, et le vrai caractère distinctif qu'elle présente, c'est son action saccharifiante sur l'amidon hydraté. Il suffit, comme je le fais, de mélanger de l'amidon cuit avec de la salive, de chauffer légèrement le tube pour placer le mélange dans les conditions de température nécessaire à la réaction, et d'ajouter ensuite de la potasse caustique ou de la liqueur de Barreswil, pour voir apparaître la coloration qui révèle la présence du sucre, coloration brune foncée avec la potasse, précipité jaune ou rouge de brique dans le second cas.

On peut aussi montrer par une autre expérience la modification que la salive fait subir à l'amidon hydraté. Je verse quelques gouttes de solution aqueuse d'iode dans cette eau amidonnée : il y a immédiatement production de la coloration bleue bien connue. J'ajoute de la salive et j'élève la température du mélange jusqu'à 35 ou 40 degrés. Vous voyez peu à peu se dissiper complétement la coloration bleue, l'amidon étant transformé en sucre.

Un fait intéressant à signaler à propos de cette action de la salive bien qu'il n'ait aucun rapport avec la physiologie de la digestion, c'est que la salive, d'après MM. Frerichs et Staedeler, peut transformer la salicine en saligénine et en sucre, à la température du sang.

Au nombre des matières inorganiques que je vous ai signalées, le sulfocyanure de potassium doit nous arrêter quelques instants. Ce sel avait été indiqué d'abord par Treviranus; puis sa présence fut affirmée successivement par MM. Tiedemann et Gmelin, Jacubowitsch, Wright, Dumas, Lehmann, etc. Je vous rends témoins de la propriété que ce sel communique à la salive de rougir les sels de fer, et nous nous servons pour cela de papier blanc collé, imbibé de perchlorure de fer.

Après vous avoir signalé la présence de ce sel, je dois vous entretenir des propriétés toxiques que l'on avait attribuées à la salive. Wright injectait de la salive dans les veines, et les chiens sur lesquels il opérait mouraient avec des symptômes d'hydropisie. Mais M. Cl. Bernard a fait voir que si l'on employait la salive filtrée, cet effet n'avait pas lieu. Éberle allait plus loin et attribuait la propriété toxique de la salive dans la rage à la présence du sulfocyanure de potassium en excès. Ce sel ne saurait produire de semblables effets, surtout avec les doses auxquelles on le rencontre dans la salive. Mais il n'est pas besoin d'invoquer une influence toxique de la salive pour expliquer la mort des chiens mis en expérience par Wright : nous avons dit que ces injections étaient faites avec de la salive non filtrée ; de plus c'était peut-être avec de la salive de fumeur qu'il opérait, et d'ailleurs, dans ces sortes d'expériences, tant de causes peuvent entraîner la mort, telles que l'entrée de l'air dans les veines ou même l'impulsion trop violente et trop brusque donnée au liquide injecté, qui pénètre ainsi tout d'un coup dans le cœur, et peut quelquefois y coaguler le sang, ou bien arrêter ses mouvements! Il faut toujours hésiter avant d'admettre les résultats mortels d'injections faites dans les veines jugulaires, comme prouvant la nature toxique de la substance injectée.

Mais je quitte ce point, qui ne doit pas laisser dans votre esprit le moindre doute, pour vous parler de la source des matières caractéristiques trouvées dans la salive : le sulfocyanure de potassium et la diastase salivaire. Et d'abord ces matières existent-elles dans la salive à l'état normal? M. Cl. Bernard regarde le sulfocyanure de potassium comme le résultat de l'altération de la salive dans la bouche. Mais les recherches de MM. Bidder et Schmidt, et celles de M. Longet, ne laissent aucun doute sur sa provenance normale ; chez

Digitized by Google

l'homme seulement cette matière est sujette à de grandes variations suivant les individus et suivant les conditions différentes dans lesquelles un même individu se trouve placé. Il faut dans cette recherche prendre certaines précautions, au point de vue de la quantité de réactif employée, pour ne pas donner à la salive, en l'absence de toute réaction sur le sulfocyanure, la coloration qui est caractéristique. On verse une goutte de sulfocyanure de potassium dans 125 grammes d'eau distillée, puis on prend 4 grammes de cette solution et l'on y verse quatre à six gouttes d'une solution de perchlorure de fer contenant 1 partie de sel pour 4 parties d'eau, on obtient une coloration rouge vif qui peut servir de type. La même quantité de perchlorure de fer versée dans de l'eau distillée pure ne donne jamais qu'une coloration jaune safran. Si l'on remplace l'eau distillée par la salive filtrée, on obtient aussitôt une coloration rouge purpurine que je vous ai déjà montrée. On a voulu sur l'affirmation de Tiedemann et de Gmelin attribuer à la présence de l'acétate de soude dans la salive la coloration obtenue par le moyen du perchlorure de fer. Mais M. Longet a pris soin de réfuter cette objection bien que des analyses exactes n'aient pas révélé l'existence de ce sel dans la salive. Si, en effet, une goutte, soit 6 centigrammes, de sulfocyanure de potassium suffisent pour obtenir la coloration rouge, il faut dans la même quantité d'eau, 125 grammes, ajouter 8 grammes d'une dissolution d'acétate de soude contenant 4 parties d'eau pour 1 de sel. Or, si le sel existait dans la salive avec de semblables proportions, il ne saurait échapper à l'investigation des chimistes.

Je ne veux pas accumuler ici les preuves que vous trouverez d'ailleurs dans les traités de physiologie. Il doit vous paraître bien démontré que le sulfocyanure de potassium existe dans la salive, et pour prouver que ce n'est pas un produit d'altération spontanée, il suffit d'abandonner de la salive à l'air non-seulement jusqu'à ce qu'elle se soit altérée, mais même jusqu'à ce qu'elle exhale une odeur fétide; or, dans ce cas, la propriété caractéristique n'a jamais été augmentée. De plus, des infusions du tissu même des glandes offrent les mêmes caractères, et je puis vous dire que des recherches personnelles faites par ce moyen ne m'ont pas laissé de doute.

Ainsi le sulfocyanure de potassium est un produit normal que l'on trouve dans la salive mixte. En est-il de même pour la diastase salivaire? M. Cl. Bernard avait pensé qu'elle était produite par l'altération. Cette théorie que, du reste, l'éminent professeur a abandonnée depuis, n'est vraie que partiellement sans doute; chez certains animaux, les salives élémentaires n'ont pas d'action sur l'amidon hydraté alors que la salive mixte en exerce une très-évidente. Ainsi j'essaye sur l'amidon l'influence de la salive de mouton qui provient de la glande sous-maxillaire, et la coloration bleue de la liqueur de Bareswill ne bouge pas. Il en serait de même de la salive sublinguale ou de la salive parotidienne et cependant, chez cet animal, la salive mixte modifierait l'amidon et le transformerait en sucre. Magendie avait déjà montré que la salive parotidienne traitée par l'alcool acquérait de la diastase salivaire. M. Cl. Bernard avait bien pu montrer aussi que, par le contact prolongé avec diverses membranes, avec le sang, il se faisait une sorte de macération et qu'alors la salive pouvait transformer l'amidon en sucre; mais cela ne pouvait pas prouver que la diastase salivaire se forme toujours uniquement par altération dans la salive mixte de tous les animaux et chez l'homme lui-même. Du reste, MM. Jarjavay et Mialhe ont signalé la présence de la diastase salivaire chez un homme qui portait une fistule du conduit parotidien; j'ai eu moi-même l'occasion de vérifier ce fait, et plus récemment il a été de nouveau confirmé en Belgique par M. Van Bervliet. Un autre observateur, M. Ordenstein, avait vu que la salive parotidienne, obtenue au moyen d'une canule introduite par l'intérieur de la bouche dans le conduit de Sténon, ne présentait cette particularité qu'après quelques instants d'exposition à l'air, mais c'était probablement là un résultat exceptionnel, puisque M. Cl. Bernard lui-même a vu le contraire. M. Longet a constaté que la propriété saccharifiante appartient aux salives provenant chez l'homme des glandes sublinguales et sous-maxillaires.

Cependant, il faudrait bien se garder de faire de cette loi une loi générale, il ne faut jamais à priori généraliser un fait physiologique. Ainsi, chez l'homme, on observe que la salive élémentaire possède la propriété saccharifiante; chez le Mouton, le Chien, le Cheval, d'après mes expériences, faites avec des infusions de glandes, cette propriété que possède la salive mixte n'existe pas pour les salives élémentaires: elle n'existe pas non plus par l'infusion de glandes parotides de Vache. Pour le Cheval, je dois dire que M. Cl. Bernard a trouvé la diastase dans les infusions des glandes salivaires, de telle sorte que, chez cet animal, il n'y aurait rien de constant sur ce point. D'une autre part, j'ai constaté que les salives élémentaires du Lapin, de la Souris ou du Rat, donnent une réaction immédiate comme celles de l'homme. Mais ce qui vous montrera encore mieux le danger des généralisations, c'est que, si le Chien adulte n'a pas de diastase salivaire dans ses salives élémentaires, il n'en est pas de même du Chien nouveau-né, chez lequel, ainsi que je l'ai vu à plusieurs reprises, les salives élémentaires peuvent rapidement transformer l'amidon. On aurait pu supposer pour ce dernier fait, que la réaction est produite par de la matière glycogène accumulée là, comme elle l'est dans le foie à la même époque; mais si l'on essaye sur une infusion de glandes parotides d'un chien nouveau-né l'action de la liqueur de Bareswill, sans ajouter de l'amidon cuit, on n'observe aucune réduction du cuivre.

En un mot, il y a dans les effets chimiques de la salive une grande variabilité dont nous aurons à tenir compte lorsque nous traiterons de son rôle physiologique. Mais quel que soit ce rôle, il est intéressant de voir quelle est la quantité de salive sécrétée. Il est difficile d'établir des chiffres bien précis; on ne peut guère chez l'homme compter que la quantité qui est obtenue par sputation, et il y en a certainement toujours une certaine quantité d'avalée. En reproduisant les chiffres fournis par J. B. Siebold, 360 grammes par jour, et ceux de M. Donné, 390 grammes, on est encore loin du compte. Chez des animaux, en plaçant des canules dans les canaux des glandes, on peut faire couler toute la salive au dehors. M. Jacubowitsch donne pour le chien le chiffre énorme de 172 grammes par heure. J'ai vu, sur un chien soumis à une excitation des nerfs glandulaires, une sécrétion de 40 grammes par heure pour les glandes sous-maxillaires seules. Dans de semblables conditions, MM. Koelliker et Müller ont recueilli 44 grammes. MM. Ludwig et Becher, grâce à l'excitation galvanique continue, ont recueilli 55 grammes par heure.

M. Colin emploie un autre procédé pour calculer la quantité de salive sécrétée, il sectionne l'œsophage et fait prendre à l'animal une quantité fixée avec soin de matières élémentaires sèches, puis reçoit le bol alimentaire à son entrée dans l'œsophage; on pèse alors de nouveau et l'on ajoute au chiffre obtenu le poids de la quantité de salive recueillie par cette

Digitized by Google

voie entre les repas. Pour comprendre à quel chiffre énorme cet expérimentateur est arrivé, il faut savoir que du foin bien sec s'imbibe de quatre fois son poids de salive. Or, M. Colin évalue que le cheval sécrète par jour 42 kilogrammes de salive et le bœuf 56 kilogrammes. On comprend cette augmentation en faveur du bœuf, car chez lui la salivation s'exécute non-seulement pendant les repas, mais aussi pendant la rumination : alors les glandes parotides sécrètent presque seules.

Du reste, comme on le conçoit, il y a là de grandes difficultés d'appréciation ; bien des causes peuvent influer sur les sécrétions et amener des variations, suivant que les aliments sont plus ou moins durs et suivant le temps pendant lequel l'excitation retentit sur les glandes. La santé de l'animal peut encore avoir une notable influence sur la quantité de suc gastrique sécrété ; enfin, on devrait tenir compte aussi de la quantité de sang que possède l'animal, et, quoi qu'en dise M. Ordenstein, de la proportion d'eau que contient le sang.

Mais, en tous cas, quelles que puissent être ces erreurs, il y a une quantité énorme de salive sécrétée. Cette quantité est presque égale dans les vingt-quatre heures à la masse totale du sang, et notez bien que parmi toutes les sécrétions dont la digestion est l'occasion ou la cause, nous n'en avons encore vu qu'une seule. Il se fait donc constamment sur une très-vaste échelle une rénovation totale du sang. Et la sortie d'une si grande abondance d'eau provenant du sang vous explique facilement la sensation de la soif, qui naît pendant les repas.

Avant de vous parler du mécanisme de la sécrétion salivaire, je veux vous dire quelques mots d'un point intéressant de l'histoire de cette sécrétion, comme d'ailleurs des autres sécrétions, à savoir : de l'élimination de certaines substances qui se fait par la salive.

Les glandes salivaires remplissent un rôle physiologique normal, et subsidiairement concourent à l'épuration du sang. Il est évident qu'étant donné un milieu comme le sang, dans lequel la digestion et la nutrition interstitielles versent constamment des matériaux qui ne doivent pas rester dans l'économie, il fallait des appareils pour rejeter au dehors ces matières étrangères. Ces appareils sont les organes de sécrétion, et c'est par eux aussi que sont éliminées les substances solubles étrangères, introduites par différentes voies dans l'économie, et qui peuvent passer dans les voies circulatoires. Mais il ne faut pas croire que ce soit indifféremment et également par toutes les sécrétions que se fasse ce travail épuratif. Il y a une épuration élective, c'est-à-dire que certaines substances sont éliminées par certaines glandes et non par d'autres, ou du moins dans d'autres cas, en plus grande abondance par tels organes sécréteurs que par tels autres. Si, par exemple, de l'albumine est introduite en trop grande quantité dans le sang; ou, si, par une cause pathologique, son pouvoir endosmotique se modifie, l'albumine sera chassée par l'urine d'abord, puis par la bile et peut-être un peu par le suc intestinal, mais jamais par la salive : le sucre de fécule s'en ira également par l'urine, mais il n'en sortira pas par la salive. Dans le diabète, comme l'a fait voir M. Cl. Bernard, qui, du reste, a trouvé presque tous les faits dont je vous entretiens en ce moment, on ne trouve pas de sucre dans la salive buccale. Dans l'ictère, ainsi que je l'ai montré, la vraie salive ne contient pas de matière colorante de la bile.

Mais il est un corps qui est éliminé par la salive. Je veux parler de l'iode. L'observation de ce fait est journalière en pathologie. Lorsqu'on injecte dans un point quelconque du corps de la teinture d'iode, on entend les malades se plaindre, presque aussitôt que l'injection est faite, d'une saveur métallique très-accentuée qui montre que le passage de la substance dans la salive se fait là avec la plus grande rapidité. Du reste, vous savez la propriété que possède l'iode de former avec l'amidon un composé bleu. Cette réaction permet d'en constater la présence dans la salive chaque fois qu'elle a été introduite, n'importe à quelle dose, dans l'économie. M. Cl. Bernard, après avoir montré que l'iode passe dans la salive avant de passer dans l'urine, et qu'il y passe pendant plus longtemps, a ajouté à ces faits remarquables un autre fait bien intéressant. Les sels de fer ne sont pas éliminés par la salive. Ainsi le lactate de fer que l'on administre souvent comme tonique n'est pas entraîné au dehors par la sécrétion salivaire. Mais, si l'on donne de l'iodure de fer, il semblerait que l'iode entraîne le fer dont on retrouve alors des traces dans la salive. Si au lieu de donner de l'iodure de fer, on fait prendre d'une part de l'iode ou même un iodure alcalin et d'autre part un sel de fer, on ne retrouve plus de traces de fer dans la salive. Les substances albuminoïdes du sang vont les séparer l'un de l'autre, et aucune élimination du fer n'a lieu.

Une expérience de M. Cl. Bernard, qui met bien en évidence ce fait de l'élimination élective de certaines substances par la salive, est la suivante : il injecte dans une des veines jugulaires d'un chien un liquide formé de 25 grammes d'eau tenant en dissolution 5 centigrammes de prussiate de potasse, 5 centigrammes d'iodure de potassium et 4 grammes de sucre de raisin. Presque aussitôt après l'injection, on trouve de l'iode dans la salive. Au bout de sept minutes, il n'y a pas encore d'autre substance qui ait passé dans la salive. Le prussiate de potasse apparaît dans l'urine. Le sucre ne se trouve dans ce dernier liquide qu'après vingt-cinq minutes, et l'iode qu'après trois heures; et, à ce moment, la salive ne contient ni sucre, ni prussiate de potasse.

Outre l'iode, la salive élimine aussi le chlorate de potasse et les sels de mercure. Vous connaissez tous ce phénomène pathologique de salivation mercurielle qui se produit non-seulement lorsque le mercure a été introduit dans le tube digestif, mais souvent à la suite des frictions faites avec l'onguent mercuriel. Une donnée générale qui ressort des observations faites sur ces éliminations électives, c'est que les substances qui sont ainsi expulsées par certains organes glandulaires sont excitatrices de la sécrétion de ces organes. Ainsi l'iode, le mercure, le chlorate de potasse, sont certainement des substances sialogogues.

Mais, au point de vue de la salive, cette propriété générale d'élimination exercée par les sécrétions offre un caractère intéressant. Si l'albumine injectée dans les veines sort par les urines lorsque les urines sont rejetées au dehors, l'albumine est complétement chassée de l'organisme. Il n'en est pas de même pour la salive. Ce fluide, alors qu'il est saturé d'iode, de mercure, n'est pas rejeté en totalité, il est avalé ; les substances qu'il devait éliminer rentrent dans le torrent circulatoire pour revenir ensuite dans les glandes salivaires, et, dans ce cercle sans fin, ce n'est qu'à la longue, et par d'autres voies, que les substances médicamenteuses sont éliminées en totalité. — E. Bremond.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

Digitized by Google

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE — NUMÉRO 41 — 8 SEPTEMBRE 1866

Paris, 7 septembre 1866.

Dans ses dernières séances, l'Académie des sciences a reçu plusieurs travaux relatifs à la maladie actuelle des vers à soie, qu'on appelle la pébrine.

M. Balbiani envoie des recherches sur les corpuscules de la pébrine et leur mode de propagation. Ces corpuscules ne lui paraissent pas des éléments anatomiques provenant de l'altération des parties fluides ou solides de leurs organes, mais bien des *psorospermies*, c'est-à-dire des espèces végétales parasitaires que l'on rencontre aussi chez un grand nombre d'autres insectes. De même que la plupart des autres parasites animaux et végétaux, ces corpuscules ne constituent un danger pour la santé ou même la vie des individus chez lesquels ils se développent qu'à la condition de se multiplier d'une manière assez excessive pour entraîner des désordres fonctionnels graves dans les organes qu'ils ont envahis.

M. Balbiani a remarqué que les œufs provenant de vers malades avaient une réaction acide, et d'autant plus acide que les corpuscules étaient plus abondants chez ces vers; les œufs sains, au contraire, auraient toujours une réaction légèrement alcaline. Il y aurait là, suivant M. Balbiani, un moyen de distinguer la graine saine de la graine malade, moyen au moins aussi sûr que l'inspection microscopique proposée par M. Pasteur, et d'une application infiniment plus facile dans les campagnes. Il suffirait en effet d'écraser une petite quantité de la graine à essayer sur du papier de tournesol bleu ou rouge, et les qualités de la graine seraient immédiatement indiquées par des changements de teinte que les personnes les moins instruites reconnaîtraient de suite.

M. Béchamp a présenté aussi une note sur la nature des corpuscules vibrants qu'on trouve dans le corps et dans les œufs des vers à soie malades; suivant lui, ces corpuscules sont des ferments insolubles dans l'eau et dans la potasse caustique, et résistant à la putréfaction.

É. A.

ASSOCIATION SCIENTIFIQUE DE FRANCE

SÉANCE TENUE A L'OBSERVATOIRE DE PARIS.

CONFÉRENCE DE M. C. WOLF.

Du mouvement propre des étoiles et en particulier du mouvement de translation du soleil.

Messieurs,

Dans notre dernière séance, sous la conduite d'un guide aimable et expérimenté (1), nous avons parcouru l'ensemble de l'univers, et visité successivement ces mondes éloignés dont le télescope d'Herschel a révélé l'existence. Nous avons trouvé les uns déjà vieux, formés comme le nôtre de soleils en nombre presque infini; les autres, âgés de quelques milliers de siècles seulement, encore en voie de formation. D'abord rare et disséminée dans une vaste étendue, la matière qui doit former ces mondes nous a apparu comme un léger nuage phosphorescent; puis se resserrant et se condensant autour de certains points, noyaux des étoiles futures, nous avons vu sa lumière augmenter peu à peu d'éclat. Nous avons vu ces noyaux, formés sous l'influence de l'attraction de la matière, continuer à obéir à cette même force et tourner les uns autour des autres. La forme gyratoire de plusieurs nébuleuses nous a rendu sensibles ces mouvements.

Or, Messieurs, si nous aussi nous avons eu une semblable origine, si le système stellaire dont fait partie notre soleil est né de la condensation de la matière cosmique, tous les astres qui le composent doivent maintenant encore graviter les uns autour des autres, et cela sans doute suivant les mêmes lois auxquelles obéissent les planètes.

Je me propose aujourd'hui de rechercher avec vous si en effet les étoiles dites fixes ne sont pas bien plutôt des astres en mouvement perpétuel, circulant dans l'espace suivant les lois de la gravitation. Je veux, en un mot, vous entretenir de ce qu'on a appelé les mouvements propres des étoiles.

C'est un fait aujourd'hui acquis à la science, que les étoiles, outre leurs changements de couleur et d'éclat, outre l'apparition et la disparition de certaines d'entre elles (2), subissent des changements continuels dans leurs positions par rapport à nous et dans leurs distances relatives. Mais avant

(1) M. Briot, *Conférence sur les nébuleuses.*

(2) Voyez un article de M. Faye sur *les étoiles variables et les étoiles nouvelles* dans le n° 38 de la *Revue des cours scientifiques*, 3e année, p. 617.

Digitized by Google

d'en conclure l'existence du mouvement propre des étoiles, il nous faut apprendre à discerner ce qu'il peut y avoir de réel dans ce mouvement que l'observation nous révèle, et ce qui peut être dû simplement à ce que nous-mêmes nous les observons sur un théâtre mobile. La terre, en effet, est transportée autour du soleil d'un mouvement extrêmement rapide : En un an elle parcourt ainsi une orbite dont le rayon moyen est d'environ 38 millions de lieues de 4 kilomètres. Lorsque vous êtes dans un train de chemin de fer, circulant au milieu d'une vaste plaine, vous voyez les objets situés au loin, les arbres, les maisons, se déplacer les uns par rapport aux autres. En est-il de même des étoiles, et les mouvements apparents qu'accomplissent ces astres les uns par rapport aux autres, sont-ils uniquement dus à ce mouvement de la terre autour du soleil ?

L'observation a montré que la distance qui nous sépare des étoiles est en général tellement grande par rapport aux dimensions de l'orbite terrestre, que, pour la plupart d'entre elles, le déplacement parallactique est absolument insensible.

Cependant quelques étoiles, la 61e du Cygne, Alpha du Centaure, Wéga de la Lyre, ont des parallaxes sensibles. Pour toutes ces étoiles, nous devons tout d'abord défalquer du déplacement total ce déplacement qui n'est qu'un effet de perspective. C'est dans le résidu que pourra se trouver le mouvement propre.

En outre, la lumière, par l'intermédiaire de laquelle nous avons connaissance de ces astres éloignés, a besoin d'un espace de temps considérable pour arriver jusqu'à nous. Elle n'emploie que 8m 18s à nous venir du soleil; la vibration partie de l'étoile la plus voisine, α du Centaure, ne vient frapper notre œil qu'au bout de trois années. De cette propagation successive de la lumière résulte un double effet sur la position que nous assignons à une étoile.

Si pendant le temps de la propagation, l'étoile qui nous envoie cette lumière s'est déplacée, il est clair qu'au moment où la sensation lumineuse nous arrive, l'étoile n'est plus là où elle était; nous ne la voyons jamais dans la situation qu'elle occupe réellement. L'aspect du ciel étoilé est donc pour nous tout autre qu'il ne serait dans l'hypothèse de la transmission instantanée de la lumière. Mais si nous sommes impuissants maintenant à reconstituer son état réel à un moment donné, cette impuissance ne nous empêche nullement de reconnaître les déplacements de chaque étoile; il n'en résultera qu'une erreur sur l'époque de ces déplacements, que nous considérerons comme simultanés, tandis qu'ils peuvent se rapporter à des époques séparées par des milliers d'années.

Mais la combinaison de la propagation de la lumière avec le déplacement de la terre dans son orbite produit un autre effet dont il nous faut tenir compte. Revenons à notre comparaison de la terre avec un train de chemin de fer circulant dans une plaine immense. Si d'un point très-éloigné, un coup de fusil est tiré contre un wagon, et que la balle en traverse les parois, comment les voyageurs reconnaîtront-ils la direction dans laquelle ils doivent porter leurs regards pour apercevoir l'auteur de cette attaque inopinée ? Ils n'auront évidemment d'autre moyen que de considérer la ligne des deux trous que la balle a percés dans les parois de la voiture. Mais sera-ce là la direction réelle ? Pas du tout, car pendant le trajet de la balle de la première paroi à la seconde, le wagon s'est transporté en avant, le premier trou a donc été aussi transporté dans le sens du mouvement, et la ligne décrite en apparence par la balle n'est pas sa direction réelle : par suite du mouvement simultané de la balle et du wagon, la ligne des trous est déviée de la direction réelle en avant dans le sens même de la marche du train.

Le mouvement progressif de la lumière et le déplacement simultané de la terre dans son orbite produisent sur la direction dans laquelle nous voyons un astre un effet tout semblable. L'étoile n'est jamais vue dans sa position vraie, sauf dans le cas où la terre marche vers elle ou s'en éloigne. A tout autre moment, l'étoile paraît déviée en avant dans le sens du mouvement de la terre, par conséquent dans un sens pendant six mois, en sens contraire pendant les six autres. Vous voyez pourquoi ce phénomène a reçu de Bradley, qui l'a découvert, le nom d'aberration de la lumière. Il se traduit encore par un mouvement oscillatoire annuel de l'étoile, dont nous avons à débarrasser le déplacement observé pour arriver au mouvement propre.

Mais ce n'est pas tout, car notre terre, en se transportant autour du soleil, n'est pas dans le cas d'un wagon posé d'une façon très-stable sur ses essieux. Il faut supposer pour rendre compte de tous ses mouvements, que son équateur se déplace constamment d'une certaine quantité par rapport au plan dans lequel elle roule. En outre, son obliquité sur ce plan change à chaque instant, et ce changement est accompagné d'une série d'oscillations de part et d'autre de la position moyenne. Ce sont là des phénomènes qui nous sont parfaitement connus, sous les noms de précession des équinoxes, de variation de l'obliquité de l'écliptique, et de nutation, phénomènes qui font osciller la terre comme les cahots d'un wagon et nous font voir le ciel comme ballotté autour de nous.

Tels sont, d'une manière générale, les changements qui s'opèrent au ciel par suite des mouvements de la terre, et qui doivent imprimer dans le cours des siècles une autre physionomie à l'aspect du firmament. La précession des équinoxes, la variation d'obliquité de l'écliptique et la nutation font monter lentement de nouvelles étoiles sur notre horizon, et en rendent d'autres pour longtemps invisibles, mais sans altérer les distances relatives de ces astres. Les autres phénomènes, résultant du mouvement annuel dans l'orbite, aberration, parallaxe, changent au contraire à chaque instant ces positions relatives ; mais ce sont là des variations périodiques, et au bout de l'année tout se trouve replacé dans l'état primitif.

Nous voyons clairement maintenant ce que nous avons à faire pour constater l'existence du mouvement propre d'une étoile. Il nous faudra déterminer sa position dans le ciel aujourd'hui, puis à une autre époque un peu éloignée, les mouvements que nous cherchons à constater étant très-petits. Calculant ensuite l'effet qu'ont dû produire sur la position de l'étoile les causes que nous venons de signaler pendant l'intervalle des deux observations, nous verrons si cet effet rend compte de la différence entière des deux positions. Si cette coïncidence a lieu, l'étoile ne s'est pas déplacée réellement : sinon, le reste représentera la valeur du mouvement propre. Le premier soin des astronomes doit donc être de déterminer avec une extrême précision la grandeur des mouvements apparents que nous venons de reconnaître, ou ce qu'on appelle les éléments de réduction des positions des étoiles.

Aussi, lorsqu'en 1717, le célèbre Halley soupçonna l'exis-

Digitized by Google

tence du mouvement propre des étoiles, dut-il, pour suppléer à l'insuffisance des données que possédait alors l'astronomie, comparer entre elles des observations séparées par une longue série de siècles, afin que les déplacements qui avaient pu se produire fussent très-considérables par rapport aux erreurs de réduction. Il rapprocha les positions modernes des positions du catalogue d'Hipparque, observées en l'an 128 avant J. C. Pendant cet espace de 1845 ans, Arcturus, Sirius et Aldébaran paraissaient, après correction du mouvement de l'écliptique, s'être déplacés en latitude de 37′, 42′, et 33′ vers le sud. La grandeur de ces nombres semble exclure toute possibilité d'erreur due au mouvement mal connu de l'écliptique, et Halley fut en droit d'attribuer des mouvements propres à ces trois étoiles.

La précision introduite dans les observations par l'application des lunettes aux cercles gradués permit bientôt à J. Cassini, le second directeur de l'Observatoire de Paris, d'appuyer l'existence du mouvement propre d'Arcturus sur une preuve irréfragable. La latitude de cette étoile en 1738 différait de plus de 2′ de celle qu'avait déterminée Richer en 1672, dans sa célèbre expédition à Cayenne. Et l'on ne pouvait mettre ce déplacement sur le compte d'une oscillation inconnue de l'écliptique, car un hasard heureux avait placé à côté d'Arcturus un repère immobile : η du Bouvier n'avait pas changé de position. Ainsi voilà deux étoiles soumises aux mêmes causes de déplacement apparent, l'une a changé, l'autre non. Le déplacement de la première est donc bien réel, Arcturus est doué d'un mouvement propre en latitude.

C'est aussi à J. Cassini que revient l'honneur d'avoir signalé les mouvements des étoiles en longitude.

Depuis l'époque de Halley et de Cassini, la formation de catalogues donnant les positions exactes des étoiles a permis de généraliser la découverte de ces astronomes, et de reconnaître que la plupart des étoiles ne conservent pas des positions fixes dans le ciel. Ces mouvements sont d'ailleurs très-inégaux. Pour les uns, nous trouvons des valeurs qui s'élèvent jusqu'à 7 et 8 secondes par an. Pour d'autres, ils descendent à un dixième de seconde. Il est clair que cette inégalité des mouvements angulaires des étoiles provient non-seulement de ce qu'ils sont réellement différents, mais aussi de ce que les astres sont à des distances très-inégales de la terre. A égalité de déplacement absolu, les étoiles les plus voisines paraîtront se déplacer d'une quantité angulaire plus considérable, comme aux yeux d'un promeneur dans une forêt, les arbres rapprochés paraissent subir un déplacement plus grand que ceux qui sont plus éloignés.

Aussi est-ce parmi les étoiles douées du plus fort mouvement propre que les astronomes recherchent de préférence celles qui peuvent avoir une parallaxe sensible, c'est-à-dire qui sont les plus voisines de nous. Cette règle, sans doute, n'est pas absolument générale, mais elle a cependant plus de valeur que celle par laquelle on a cherché à lier l'éclat d'une étoile à sa distance. Les étoiles les plus brillantes ne sont pas les plus rapprochées de nous, elles ne sont pas non plus animées des plus grands mouvements propres. A mesure que se complète l'étude de ces mouvements, que l'on a dû faire d'abord pour les plus belles étoiles, on en rencontre de très-considérables parmi les étoiles de huitième et de neuvième grandeur. Et ces mêmes étoiles se sont montrées souvent douées d'une parallaxe mesurable.

Parmi les étoiles animées d'un mouvement propre considérable, il en est une que je dois vous citer surtout, c'est la 61e du Cygne. C'est la première étoile dont la parallaxe a été mesurée, et dont la distance à la terre a pu être déterminée. Or, si nous connaissons la quantité dont se déplace angulairement cette étoile dans le ciel, si nous connaissons la distance à laquelle elle se trouve de la terre, nous pouvons en conclure la valeur absolue du chemin qu'elle parcourt en une année, en un jour, en une seconde.

Je ne vous dirai point le nombre de myriamètres dont cette étoile se déplace en un an dans le ciel : il est tellement grand qu'il ne représente plus rien à notre imagination. En un jour, elle parcourt 619 000 myriamètres, à peu près 160 fois le tour de la terre. En une seconde, sa vitesse est de 71kilom.,6.

Ainsi voilà une étoile qui nous semblait absolument fixe dans le ciel, et qui se déplace en réalité avec une vitesse plus que double de celle de la terre dans son orbite (30kilom.,4), près de 72 fois plus grande que celle d'un boulet de canon.

Et ce n'est pas la plus grande vitesse constatée dans les étoiles. Arcturus se meut à raison de 85 kilomètres par seconde. D'autres, au contraire, n'ont que des vitesses beaucoup plus faibles. La Chèvre parcourt dans le même temps 40 kilomètres, Wéga 7 kilomètres seulement. Mais ces nombres sont moins certains que celui que j'ai indiqué pour la 61e du Cygne, parce que la distance de l'étoile à la terre n'a pu être déterminée avec la même précision.

Maintenant, pour vous donner une idée de la grandeur apparente de ces déplacements dans le ciel, il me suffira de vous dire qu'une étoile dont le mouvement propre serait d'une seconde par an, mettrait dix-huit cents ans à parcourir une grandeur égale au diamètre de la lune ; et, d'après Mœdler, la moyenne des mouvements connus n'est que d'un dixième de seconde. Vous concevez, d'après cela, quelle précision il faut apporter dans les observations pour arriver à mesurer des mouvements si petits en apparence et qu'il est même nécessaire d'en laisser l'effet s'accumuler pendant de longues années. Ce n'est donc qu'en léguant à ses successeurs des catalogues très-exacts que l'astronome peut contribuer à l'avancement de cette partie si intéressante de l'histoire du ciel.

Si vous remarquez maintenant que l'étude des mouvements propres des étoiles doit fournir un jour les bases de la mécanique céleste appliquée non plus aux planètes, mais à toute l'étendue du système stellaire, et devenir, pour un nouveau Képler, le fondement des lois de l'univers entier; si vous vous rappelez aussi que, sur la comparaison des positions des étoiles à différentes époques par rapport à notre équateur et à notre écliptique, repose la détermination des éléments de réduction, des constantes fondamentales de l'astronomie : vous comprendrez, Messieurs, que les plus grands astronomes, dans tous les temps, et particulièrement depuis le XVIIe siècle, aient consacré leurs travaux et leurs veilles à la construction de ces immenses catalogues d'étoiles, qui confondent l'imagination par leur étendue et par l'infatigable persévérance de leurs auteurs. Il y a loin de ces patients labeurs à ces découvertes qui éblouissent le monde et donnent immédiatement à l'heureux chercheur d'astres nouveaux un renom populaire. Aussi se demande-t-on souvent à quels travaux se livrent silencieusement les grands observatoires, munis de si magnifiques instruments, pourvus d'un personnel nombreux, et aux noms desquels pourtant s'accolent rarement les découvertes de planètes et de comètes, auxquels les

Digitized by Google

apparitions d'étoiles ont besoin parfois d'être signalées par la voix publique. Ce n'est ni à Greenwich, ni à Pulkowa, ni à Paris, qu'ont été trouvées la plupart des petites planètes. Telles ne doivent pas être les occupations des grands observatoires : ils ont à établir les fondements mêmes de l'astronomie.

Aussi a-t-on vu tous les directeurs de Greenwich, Flamsteed, Halley, Maskelyne, Bradley, Pond et Airy, attacher leurs noms à des cartes ou à des catalogues du ciel. A Kœnigsberg, le plus illustre des astronomes allemands, Bessel, pendant huit années, a consacré son génie et son admirable talent d'observation à la détermination de ses zones, complétées plus tard par son élève et son ami Argelander. Voyez Piazzi à Palerme, Taylor à Madras, Groombridge à Blackheath, Brisbane et Rumker à Paramatta, puis ce dernier à Hambourg, Henderson et Maclear au Cap, déterminant les positions des étoiles du ciel boréal et austral. Rappelez-vous l'infatigable activité avec laquelle La Caille, à Paris et au Cap de Bonne-Espérance, sut mener à bonne fin l'édification de ses *Fondements de l'astronomie*, et de son *Ciel austral* comprenant 9766 étoiles observées en une seule année. Rappelez-vous enfin le plus célèbre des monuments de ce genre, le Catalogue de 50 000 étoiles de Lalande. Tant et de si illustres exemples vous montreront quelle est la nature des travaux d'un observatoire; et vous comprendrez pourquoi, depuis dix ans, l'Observatoire de Paris considère comme un de ses devoirs les plus sacrés la réobservation des étoiles du *Catalogue* de Lalande.

Avant de poursuivre notre marche et de déduire les conséquences des faits que nous venons de constater, permettez-moi de ramener vos regards en arrière et d'examiner avec vous la voie que nous avons suivie. Cette voie en effet est celle qu'a toujours parcourue l'astronomie; c'est elle qui a conduit à la découverte de toutes ses lois fondamentales.

Presque toutes les grandes découvertes en astronomie, dit Herschel, ont été le résultat de la considération de ce qu'on peut appeler les phénomènes résiduels, de nature quantitative ou numérique, c'est-à-dire de ces portions des résultats numériques ou quantitatifs de l'observation qui restent inexpliquées et sans raison d'être après qu'on a fait entrer en ligne de compte tout ce que fournit la stricte application des principes connus. C'est ainsi que la grande découverte de la précession des équinoxes est sortie comme phénomène résiduel de l'insuffisante explication du retour des saisons par le retour du soleil à la même position apparente parmi les étoiles fixes. Ainsi encore l'aberration et la nutation ressortirent comme des phénomènes résiduels de cette portion du déplacement apparent des étoiles qui n'était pas expliquée par la précession. Et ici enfin, nous voyons les mouvements propres des étoiles se présenter comme les résidus inexpliqués de leurs déplacements apparents dans le ciel, lorsqu'on en a défalqué tout ce que peuvent produire les causes connues, précession, nutation et aberration.

Le progrès immédiat de la théorie consiste maintenant à diminuer autant que possible ce résidu, ce *caput mortuum* de l'observation, et, s'il est possible, le réduire à rien, soit en montrant que nous avions négligé quelque chose dans notre appréciation des effets des causes connues, soit en raisonnant sur ce résidu comme sur un fait, et remontant, d'après les principes de la philosophie inductive, de l'effet à sa cause ou à ses causes.

Notre but actuel est donc d'expliquer par quelque cause la *totalité* du mouvement propre des étoiles. Et si, comme il est probable, la cause que nous allons découvrir n'explique qu'une partie du phénomène, nous serons encore en présence d'un nouveau résidu, dont la considération pourra mener nos successeurs à de nouvelles découvertes. C'est ainsi que par approximation successives l'astronomie marche et tend incessamment vers la perfection.

Tout nous démontre que notre soleil est une étoile analogue par sa nature, par sa constitution, aux autres étoiles de notre système stellaire. L'analyse spectrale est venue confirmer cette identité de constitution. Or, si notre soleil est une étoile, il doit avoir un mouvement propre.

Mais, voyez la conséquence de ce fait : si le soleil a un mouvement, s'il nous emporte avec lui dans l'espace, le déplacement des étoiles dans le ciel n'est-il pas une pure apparence due à ce que nous nous rapprochons des unes et nous éloignons des autres? Ce mouvement de translation du soleil à travers les étoiles fixes ne va-t-il pas suffire à expliquer tous les mouvements que nous venons de constater? Vous avez déjà la réponse à ces questions : nous pourrons par le mouvement du soleil et de son cortége de planètes, expliquer une partie du mouvement apparent des étoiles; mais nous n'expliquerons pas tout, il y aura un résidu numérique, qui représentera ce que nous devons appeler le mouvement vrai de ces astres et dont nous aurons à chercher et les lois et la cause.

Comment arriverons-nous à reconnaître l'existence du mouvement de translation de notre système planétaire, sa direction et sa vitesse? Le soleil étant une étoile, trois hypothèses sont possibles sur l'état de cette étoile par rapport aux autres : Ou bien, il est seul en mouvement au milieu de l'univers immobile; ou bien il est en repos au milieu des étoiles en mouvement; ou enfin, et cette dernière supposition est évidemment la plus probable, et le soleil et les étoiles se meuvent dans l'espace. Examinons quelles apparences devra nous présenter le ciel étoilé dans chacune de ces hypothèses.

Lorsque vous vous promenez dans une forêt, les arbres vers lesquels vous marchez semblent, par un effet de perspective, s'écarter les uns des autres, ceux dont vous vous éloignez semblent se resserrer. Il en sera de même de l'apparence du ciel si le soleil se transporte à travers les étoiles. Les constellations situées autour du pôle vers lequel nous tendons paraîtront grandir, tandis que les étoiles des constellations opposées se rapprocheront les unes des autres. Nous verrons donc dans toute l'étendue du ciel toutes les étoiles animées de mouvements dirigés vers le point d'où nous nous éloignons.

Si nous admettons au contraire l'immobilité du soleil, comme nous ne voyons plus à priori de cause générale présidant aux mouvements propres des étoiles, nous devons nous attendre à trouver ceux-ci se produisant dans tous les sens possibles : la moyenne de tous ces déplacements devra être égale à zéro.

Mais si nous restituons maintenant à notre soleil le mouvement qu'il doit posséder en qualité d'étoile, les apparences ne seront autres que la superposition des deux effets que nous venons de décrire. Nous trouverons, dans les mouvements de chaque étoile considérée isolément, toutes les directions possibles; mais, dans l'ensemble de ces déplacements, nous devrons reconnaître une tendance générale à s'écarter du

Digitized by Google

pôle vers lequel nous marchons, à se rapprocher du point diamétralement opposé (1). Sans doute nous trouverons des exceptions à cette tendance générale : il suffira qu'une étoile possède, dans le sens même du mouvement du soleil, un mouvement propre égal ou plus rapide, pour qu'elle paraisse immobile ou qu'elle semble se mouvoir en sens inverse de l'ensemble du ciel. Mais ce seront là des exceptions qui ne sauraient nous empêcher de reconnaître l'effet général, pas plus que dans une série d'observations, les écarts dus à des erreurs accidentelles ne peuvent masquer la loi générale du phénomène.

Vous voyez, Messieurs, par quelles considérations a dû être guidé le grand Herschel, lorsqu'en 1783 il chercha à substituer des données positives aux vagues aperçus dont s'étaient forcément contentés ses prédécesseurs. Il reconnut qu'un mouvement relatif du soleil à travers les étoiles dans la direction d'un point situé près de λ d'Hercule (AR=17 h. 22 m., P = 63° 43′) rendrait compte de la partie principale des mouvements propres observés. A cette époque, sans doute, ces mouvements propres étaient très-imparfaitement connus; le nombre des étoiles sur lesquelles Herschel avait basé ses calculs, soit dans son mémoire de 1783, soit dans celui de 1805, n'était en réalité que de 6 ou 7. Et cependant, le mouvement de translation du soleil paraît ressortir de l'ensemble des mouvements des étoiles avec une telle évidence, Herschel avait été guidé dans son travail par un si puissant instinct de la vérité, que les recherches de ses successeurs, établies sur des bases plus certaines et plus nombreuses n'ont presque rien changé à la direction qu'il avait assignée.

L'ensemble des travaux d'Argelander, comprenant 390 étoiles, de Lundhahl qui en considère 147, de Otto Struve 392, donne comme position la plus probable du point vers lequel se dirige le soleil :

AR = 17 h. 17 m., P = 55° 23′ (1790).

Mais toutes les étoiles employées jusqu'ici appartenaient à l'hémisphère boréal; il était curieux de savoir si les étoiles du ciel austral donneraient un résultat analogue. Le calcul en a été fait par un astronome anglais, M. Galloway, et le point assigné est si voisin de celui qu'indiquaient les étoiles de l'hémisphère nord, qu'il en ressort une pleine conviction de l'exactitude des déterminations, et de l'existence de la cause physique que nous avions supposée.

Pour 1850, la moyenne de toutes les positions obtenues est :

AR = 17 h. 21,3 m., P = 56° 27′, 1.

Quant à la vitesse absolue de ce mouvement du soleil, il est très-difficile de la déterminer, et elle ne le sera d'une manière un peu certaine que lorsque nous connaîtrons les mouvements propres d'un plus grand nombre d'étoiles. D'après M. O. Struve, cette vitesse est à peu près de 8 kilomètres par seconde, un peu plus grande que le quart de la vitesse de la terre dans son orbite.

Telle est aussi la vitesse qui, dans l'hypothèse de l'immobilité des étoiles, *paraîtrait* pour nous animer chacun de ces astres, et produirait leurs déplacements angulaires, variables avec leur distance et leur position dans le ciel. Or, nous avons trouvé tout à l'heure pour certaines étoiles des vitesses absolues de 85, de 71 kilomètres; le mouvement du soleil ne rend donc compte que d'une partie du mouvement observé des étoiles. Nous arrivons ainsi à cette conclusion générale : toutes les étoiles, y compris le soleil, sont animées de mouvements propres.

Et alors se présente cette question : l'univers sidéral est-il une simple agrégation fortuite de systèmes partiels, indépendants les uns des autres, ou est-il lui-même un système plus vaste dans lequel tous les astres tourneraient ensemble autour du centre de gravité commun, comme les éléments de notre système planétaire tournent autour du centre de gravité de ce système? Puis encore, ce centre de gravité de l'univers tombe-t-il dans le vide, ou bien se trouve-t-il à petite distance du centre d'un corps prépondérant, comme celui du système planétaire tombe dans le soleil ou à faible distance? Existe-t-il en un mot un soleil de l'univers?

Répondre à ces questions, Messieurs, ce serait entrer dans le domaine des pures conjectures. Nous ne connaissons en effet les mouvements propres que d'un très-petit nombre d'étoiles, les plus remarquables par leur éclat; et vouloir traiter à fond le problème qui vient de se poser, ce serait oublier que les mouvements propres des étoiles télescopiques nous restent inconnus, et que ces étoiles se comptent par millions dans les couches de la voie lactée.

Mais, à défaut d'une réponse directe, la question de savoir si les mouvements des étoiles obéissent à une loi générale peut recevoir du moins une solution indirecte. Nous sommes incapables de reconnaître maintenant la liaison des mouvements de toutes les étoiles; mais l'observation a prouvé qu'il existe dans le ciel des groupes de deux, trois étoiles et plus, dont les composantes sont liées les unes aux autres comme les planètes sont liées entre elles et avec le soleil. De telle façon que ces deux, trois, quatre étoiles, tournent autour du centre de gravité du système suivant des lois qu'il a été possible de déterminer. Ne serait-ce pas une induction très-légitime que d'admettre comme générales et s'appliquant à toutes les étoiles, les lois du mouvement de ces systèmes partiels?

Depuis longtemps en effet, l'observation a fait voir qu'il existe dans le ciel des étoiles très-rapprochées les unes des autres, tellement rapprochées qu'il faut des instruments puissants pour dédoubler le groupe qu'elles constituent.

Mais ces astres, qui pour l'œil de l'observateur sont si voisins l'un de l'autre, le sont-ils en réalité? Vous concevez qu'en effet, deux étoiles très-éloignées l'une de l'autre peuvent être placées sur le même rayon visuel; il peut y avoir des couples d'étoiles purement optiques. Comment reconnaître que deux étoiles voisines en apparence ne le sont pas par un pur effet de perspective; qu'elles constituent un groupe dont les membres sont non-seulement très-voisins l'un de l'autre, mais sont physiquement liés par une action mutuelle?

Tout à l'heure, je vous citais parmi les étoiles qui ont les mouvements propres les mieux constatés, la 61e du Cygne. Or, c'est une étoile double et les deux composantes de ce groupe ne se quittent jamais, elles marchent de conserve, avec une vitesse commune de 72 kilomètres par seconde.

(1) Il n'est évidemment question ici que des mouvements *indépendants* des étoiles dans l'intérieur de notre système stellaire : un mouvement général qui entraînerait le système tout entier dans l'espace ne pourrait être reconnu que par les déplacements relatifs des divers systèmes ou des nébuleuses les unes par rapport aux autres.

Digitized by Google

Il existe donc un lien qui les réunit, elles constituent un couple physique.

Nous pouvons aller plus loin encore. Mesurons la distance apparente des deux étoiles, c'est-à-dire l'angle sous lequel est vue la ligne qui les joint; déterminons aussi la position de cette ligne, ou l'angle qu'elle fait avec la direction que suit chaque étoile dans son mouvement diurne. Nous constaterons au bout d'un temps qui ne sera pas très-long, que la distance des deux étoiles a varié, et surtout que la ligne qui les joint s'est déplacée. Depuis 1781, époque des premières mesures de W. Herschel, cette ligne a décrit dans le ciel un angle de plus de 62°.

Ainsi voilà deux étoiles, qui en même temps qu'elles sont emportées dans l'espace d'un mouvement commun, tournent l'une autour de l'autre, de manière à accomplir un tour entier en une période de cinq cents ans environ. Elles ont donc tous les caractères de deux corps satellites, elles constituent réellement un couple physique.

Le nombre connu de ces couples physiques n'était pas très-grand il y a quelques années. Jusqu'en 1836, sur 2640 étoiles doubles, on ne connaissait que 58 couples bien constatés. En 1849, il y en avait 650 sur 6000 étoiles doubles. Ainsi à mesure que la science marche, parmi les étoiles reconnues doubles, il s'en présente un plus grand nombre dont les deux composantes sont réellement liées l'une à l'autre. Quelles sont les lois de cette liaison et quelle en est la cause?

Les travaux d'un certain nombre d'astronomes, W. Herschel, Savary, Bessel, et particulièrement ceux de M. Yvon Villarceau ont fait voir que dans leur révolution les deux étoiles d'un groupe suivent exactement les mêmes lois qui régissent les mouvements des planètes autour du soleil, qu'elles obéissent aux lois de Képler. Si bien qu'étant données les positions qu'elles occupent l'une par rapport à l'autre à quatre époques distinctes, il est possible de déterminer et la forme de l'orbite que l'une des composantes décrit autour de l'autre considérée comme immobile, et la durée de la révolution.

Ces déterminations ont été faites par M. Y. Villarceau pour un certain nombre d'étoiles doubles. Et, chose remarquable, les durées des révolutions de ces soleils l'un autour de l'autre ne se sont pas toujours trouvées tellement grandes qu'il ne puisse être donné à un astronome de voir une révolution complète. Ainsi les deux composantes de l'étoile p d'Ophiuchus accomplissent leur révolution en 92 années, celles de ξ de la grande Ourse, en 61; de η de la Couronne, en 42; et de ζ d'Hercule, en 36. Ce sont là des nombres tout à fait comparables aux durées des révolutions des planètes, 29 ans pour Saturne, 84 pour Uranus, 164 pour Neptune.

Les astronomes ont été plus loin encore dans la démonstration des analogies des systèmes d'étoiles doubles avec notre système planétaire.

Le mouvement propre de Sirius présente certaines inégalités dont la cause échappait à l'observation. L'examen de ces inégalités suggéra à l'illustre Bessel une idée originale et grandiose. Il crut qu'il était possible de les expliquer en admettant auprès de Sirius un corps troublant, une grosse planète non lumineuse circulant autour de lui, et pouvant influer sur les mouvements de son soleil.

Pendant longtemps les astronomes ont été partagés d'opinion touchant cette hypothèse de Bessel. Attaquée par Struve, elle avait été reprise et soutenue par Peters et Schubert, lorsqu'en 1862, à Chicago, M. Alvan Clark découvrit à côté de Sirius une petite étoile restée invisible jusqu'alors : c'était le compagnon de Sirius. M. Alvan Clark avait à sa disposition la plus puissante lunette qui existe, une lunette de 18 pouces d'ouverture. Peu de jours après, cette petite étoile fut aperçue ici par M. Chacornac, à l'aide du télescope de 80 centimètres, aujourd'hui à Marseille.

Depuis cette époque, tous les astronomes munis de puissants instruments ont mesuré assidûment la distance et la position relative du compagnon auprès de l'étoile principale. Et, de l'aveu de tous, ces positions concordent d'une manière remarquable avec celles qu'indiquaient les calculs de M. Peters pour le corps troublant. Cette petite étoile est bien le satellite de Sirius, le satellite entrevu par Bessel.

Est-ce une étoile lumineuse par elle-même, ou une planète empruntant sa lumière à Sirius? Le calcul montre que ce satellite, pour produire sur le mouvement de Sirius les perturbations observées, doit avoir une masse égale à la moitié de celle de Sirius lui-même. Il a donc un volume comparable à celui de cette étoile; et par suite, s'il était lumineux par lui-même, il aurait probablement un éclat considérable. Or, il nous apparaît comme une étoile de neuvième grandeur à peu près. Il est donc permis de le regarder comme obscur. M. O. Struve va même plus loin : il croit avoir constaté une variation progressive de l'éclat du compagnon de Sirius. Nous pourrions donc, à la prodigieuse distance qui nous sépare de ce curieux système planétaire, saisir les phases d'un satellite tournant autour de son soleil.

Je n'arrêterai pas plus longtemps votre attention sur ce sujet. Je vous ferai remarquer seulement quelles doivent être la magnificence et la complication des effets de lumière, des alternatives de jour et de nuit, sur des planètes éclairées par deux, trois, quatre, cinq soleils, et des soleils dont les couleurs sont souvent fort différentes.

Voilà le point où nous ont amenés les observations purement astronomiques dans la détermination des positions des étoiles. Nous avons constaté l'existence des mouvements propres, nous avons appris à reconnaître les lois des révolutions des étoiles doubles; et pour un très-petit nombre d'astres, la connaissance approchée de la distance qui les sépare de nous a permis de déterminer la grandeur absolue de leur mouvement apparent.

Mais nous ne pouvons constater ainsi que le mouvement ou la composante du mouvement sur la surface même de la sphère céleste. Tout déplacement dirigé vers nous nous échappe. Existe-t-il quelque moyen d'investigation capable de nous faire reconnaître ce genre de mouvement?

Vous savez, Messieurs, quels services la physique a déjà rendus à l'astronomie. Vous savez comment, grâce à l'analyse spectrale, on a pu déterminer la composition chimique des atmosphères du soleil et des étoiles, reconnaître les analogies que présentent avec la nôtre les atmosphères des planètes, saisir enfin la nature des bouleversements qui produisent l'augmentation subite de l'éclat d'une étoile. Ce mode d'analyse nous a fourni sur la constitution des nébuleuses des données certaines que nous n'avions pu obtenir des télescopes les plus puissants. Eh bien! la physique possède aussi le moyen de nous dire si une étoile se rapproche de nous et quelle est la vitesse de ce rapprochement.

Un corps lumineux comme une étoile n'est autre chose pour le physicien qu'un centre de vibration, dont les impul-

Digitized by Google

sions périodiques se transmettent à l'éther environnant et parviennent ainsi jusqu'à notre œil, exactement comme les vibrations d'un corps sonore se propagent à travers l'air pour apporter à l'oreille la sensation du son. C'est donc en interrogeant les phénomènes acoustiques plus facilement accessibles à l'expérience, et étendant prudemment ensuite à la lumière ce que nous aurons trouvé pour le son, qu'il nous sera aisé de concevoir l'influence que peut avoir sur les qualités de la lumière un mouvement de translation du corps qui l'émet.

Aussi longtemps que le corps sonore est immobile, les vibrations qu'il imprime à l'air viennent frapper notre oreille à des intervalles réguliers rigoureusement égaux à la durée même des vibrations de la source; et c'est le nombre de ces vibrations en une seconde qui détermine la hauteur du son, plus aigu quand ce nombre est plus grand, plus grave quand ce nombre est moindre. Mais si le centre d'où émanent les ondes sonores se rapproche de nous avec une vitesse comparable à celle du son, pendant l'intervalle de deux impulsions, sa distance aura diminué; la seconde impulsion ayant moins de chemin à faire que n'en a eu la première nous arrive après celle-ci à un intervalle moindre que celui qui a séparé les époques de leur production. Nous percevons plus de vibrations dans le même temps, le son monte à l'aigu. Il baisse au contraire si le corps sonore s'éloigne.

L'expérience peut se faire et a été réalisée en plaçant sur un train de chemin de fer un tuyau d'orgue donnant un son puissant et parfaitement soutenu. L'auditeur placé le long de la voie entend, pendant l'approche du train, un son plus aigu que le son réel; celui-ci baisse subitement au moment du passage du convoi, et tombe au-dessous du son normal pendant que le train s'éloigne.

Ainsi le sens de la variation du ton nous indique le sens de la marche du corps sonore par rapport à nous, et la grandeur de cette variation peut servir à calculer la vitesse du déplacement relatif.

Des phénomènes tout semblables doivent affecter la lumière qui nous vient d'une source animée d'un mouvement dont la vitesse est comparable à celle de la lumière elle-même. Les ondes nous arrivent plus pressées pendant le rapprochement de la source, plus écartées pendant que celle-ci s'éloigne. La couleur, qui est le *ton* de la lumière, monte dans l'échelle du spectre du rouge vers le violet, ou descend du violet vers le rouge. Si donc une étoile d'une couleur simple, jaune par exemple, marchait d'abord vers nous pour s'en éloigner ensuite, nous verrions sa nuance s'altérer pendant le mouvement; elle monterait du côté du vert pendant le rapprochement de la source, deviendrait jaune pur au moment où le mouvement change de sens, et tendrait ensuite vers l'orangé.

Mais les phénomènes ne sont jamais aussi simples, et il nous faut nous en féliciter, puisque, dans le cas dont je viens de parler, vu notre ignorance de la couleur vraie de l'étoile, le changement de sens du mouvement est nécessaire pour nous avertir de l'existence du mouvement lui-même.

La lumière d'une étoile comprend une infinité de couleurs correspondant à des nombres de vibrations variables entre deux limites, celui du rouge le plus sombre et celui du violet extrême. De plus, en deçà et au delà de ces limites, l'étoile nous envoie encore des vibrations plus lentes qui produisent seulement la sensation de chaleur, et des vibrations plus rapides qui, non perceptibles pour l'œil, possèdent par excellence la propriété d'impressionner les plaques photographiques. Si l'échelle de ces vibrations est complète depuis la plus lente jusqu'à la plus rapide, quel effet produira sur notre œil un rapprochement très-rapide de l'étoile? Évidemment aucun, car toutes les vibrations montant à la fois dans l'ordre du spectre complet, le spectre lumineux perdra par un bout des vibrations qui deviendront invisibles, mais il gagnera par l'autre des vibrations d'abord invisibles qui deviendront lumière rouge. Le spectre considéré dans son ensemble n'aura pas changé. C'est pourquoi l'emploi d'un prisme achromatique dans les expériences sur la réfraction de la lumière des étoiles n'a rien donné à Arago ni à ceux qui, après lui, ont essayé le même mode d'investigation.

Mais il n'en sera plus de même si vous considérez isolément chaque partie du spectre. Il existe, en effet, dans le spectre des étoiles, comme dans celui de la lumière solaire, des lignes noires très-fines et très-nombreuses, qui démontrent des hiatus dans l'échelle des vibrations. Si chaque couleur monte et se modifie par le mouvement de la source, il en sera de même des séparations des couleurs, ou des raies noires qui sillonnent les diverses régions du spectre. Et alors nous trouverons dans le vert les raies qui, pour une source immobile, se trouvent dans le jaune, dans le bleu les lignes du vert et ainsi de suite. La physionomie du spectre parsemé de ses raies aura donc changé. Et si, par l'aspect, par l'arrangement spécial des lignes qui constituent un de ces groupes si caractéristiques dans les spectres de certains métaux, du sodium, du magnésium par exemple, nous pouvons reconnaître l'existence de ce groupe dans le spectre d'une étoile, il nous suffira de savoir si, dans ce dernier spectre, ce groupe se trouve ou non dans la même nuance que dans le spectre de la source immobile, il suffira de mesurer sa réfrangibilité pour reconnaître si l'étoile est ou non en mouvement par rapport à nous, et quel est le sens et la grandeur de ce mouvement.

Telle est l'expérience indiquée par M. Fizeau, et qui malheureusement n'a pas encore été essayée. Vous voyez que de son succès dépend la connaissance de la composante de la vitesse des étoiles en vertu de laquelle ces astres marchent vers nous. L'astronomie ne peut nous donner cette composante; elle ne nous fait connaître que la projection de la vitesse sur la surface de la sphère céleste. Ici encore l'astronomie et la physique compléteront mutuellement leur œuvre.

Nous voici arrivés au terme des recherches que nous avions entreprises. L'observation nous a appris que dans cette fourmilière immense des étoiles de notre système, tous les éléments sont en mouvement continuel les uns par rapport aux autres. Nous avons appris à distinguer dans les mouvements apparents ce qu'il y a de réel, et ce qui doit être attribué aux divers mouvements dont nous sommes nous-mêmes animés. L'ensemble de ces mouvements est-il soumis à une loi générale? L'insuffisance des données scientifiques actuelles ne nous a pas permis de répondre directement à cette question. Mais nous avons trouvé des systèmes partiels très-nombreux, dont les éléments suivent dans leurs mouvements relatifs les lois de Képler et de Newton. Nous sommes donc autorisés à étendre à tous les corps stellaires l'application de ces lois, et nous retiendrons comme conclusion générale de notre entretien, que la gravitation découverte par Newton dans les éléments du système planétaire est une loi absolument générale de la nature.

C. WOLF.

Digitized by Google

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS.

PHYSIQUE MÉDICALE.

COURS DE M. GAVARRET (*).

Des images par réflexion et par réfraction.

DES LENTILLES PLACÉES DANS L'AIR (suite).

Conformément à ce que nous avons précédemment établi (44), on doit compter les longueurs $K_1'O$, K_0K *positivement* à droite et *négativement* à gauche des points K_0', K_0; les longueurs K_1O, $K_1'K'$ *positivement* à gauche et *négativement* à droite des points K_1, K_1'; la première distance focale KF *positivement* à gauche, *négativement* à droite du point K; enfin la seconde distance focale K'F' *positivement* à droite, *négativement* à gauche du point K'.

Ces conventions faites, il suffit de donner aux distances focales φ_0, φ_1' des lentilles associées des valeurs *positives* ou *négatives* suivant qu'elles sont convergentes ou divergentes, pour que les formules précédentes représentent les éléments fondamentaux d'un système de deux lentilles quelconques associées et plongées dans l'air (**).

94. *Distance des points nodaux du système.* — La distance KK' des deux points nodaux du système (fig. 273, p. 598) est :

$$KK' = K_0K_1' - (K_0K + K_1'K')$$

Or,

$$K_0K' = (K_0K_0' + K_1K_1') + e$$

Et (93) formules (2),

$$K_0K + K_1'K' = \frac{e(\varphi_0 + \varphi_1)}{\varphi_0 + \varphi_1 - e}$$

D'où, en substituant :

$$KK' = (K_0K_0' + K_1K_1') + e - \frac{e(\varphi_0 + \varphi_1)}{\varphi_0 + \varphi_1 - e}$$

Et enfin,

$$KK' = (K_0K_0' + K_1K_1') - \frac{e^2}{\varphi_0 + \varphi_1 - e}$$

Si e est une quantité très-petite, comme par exemple dans le cas où l'on juxtapose deux lentilles pour avoir un système achromatique, le terme en e^2 peut être négligé et l'on a :

$$KK' = K_0K_0' + K_1K_1'.$$

Dans ce cas, la distance des points nodaux ou des plans principaux du système est égale à la somme des écartements des points nodaux des lentilles composantes.

95. *Simplification.* — D'après ce que nous avons dit (85) des propriétés des plans principaux, on peut au système des deux lentilles M_0, M_1 substituer une lentille infiniment mince placée au premier point nodal K du système (fig. 275, p. 600) et dont les distances focales soient égales entre elles et à KF.

Les rayons transmis par cette lentille infiniment mince sont parallèles à ceux qu'aurait transmis le système lui-même, et pour avoir la position réelle des rayons transmis par le système des deux lentilles M_0, M_1, il suffit de transporter parallèlement à eux-mêmes et d'une distance, comptée sur l'axe principal, égale à l'intervalle KK' des points nodaux du système, les rayons transmis par la lentille infiniment mince placée en K.

§ 2. — *De la lunette astronomique.*

96. La lunette astronomique est un appareil destiné à donner des images nettes et exactes des objets très-éloignés. Elle se compose (fig. 293) de deux lentilles convergentes placées dans l'air. La première M_0 prend le nom d'*objectif*, reçoit les rayons émanés de l'objet extérieur ST, et en forme une image réelle et renversée S'T' entre la seconde lentille M_1 qui prend le nom d'*oculaire*, et son premier foyer principal F_1. L'oculaire agit sur cette image réelle S'T' comme une loupe et forme de l'objet ST une image virtuelle et renversée S''T''.

97. *Anneau et point oculaires.* — Soit IAI' l'étendue découverte de la face antérieure de l'objectif M_0 par laquelle la

(*) Voy. les nos 26, 27, 28, 30, 32, 34 et 36. — Dans l'article précédent, p. 600, n° 93, 3e ligne, au lieu de *fig.* 57 et 58 lisez *fig.* 273 et 274.

(**) La marche que nous avons adoptée permet de déterminer les éléments fondamentaux d'un système dioptrique composé d'un nombre quelconque de lentilles associées et placées dans l'air. Soient : en effet, M_0, M_1, M_2 (fig. 292), trois lentilles associées (K_0, K_0'), (K_1, K_1'),

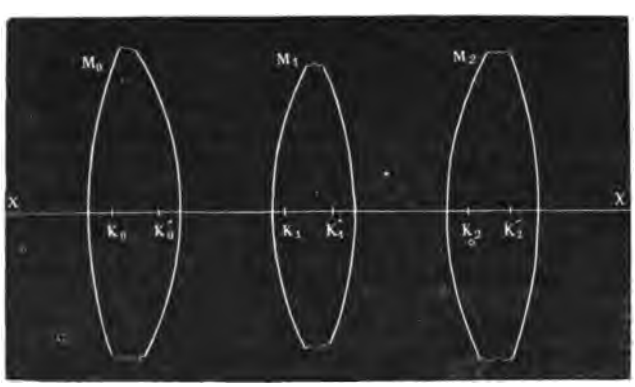


FIG. 292.

(K_2, K_2') les points nodaux, φ_0, φ_1, φ_2 les distances focales de ces lentilles. Appelons e la distance $K_0'K_1$ et e' la distance $K_1'K_2$.

Les deux lentilles M_0, M_1 peuvent être remplacées par une *seule* lentille dont les éléments fondamentaux ne dépendent que des distances focales φ_0, φ_1 des lentilles M_0, M_1 et de la distance connue $K_0'K_1 = e$. En combinant cette lentille avec la troisième M_2, on déterminerait les éléments fondamentaux de la lentille *unique* capable de produire sur la lumière la même action que le système entier, et l'on connaîtrait ainsi la position sur l'axe principal des deux points nodaux K, K' et la valeur commune φ des deux distances focales du système des trois lentilles.

En exécutant les calculs pour ces trois lentilles, on obtiendrait :

1° Pour la position des points nodaux du système qui sont en même temps ses points principaux :

1er point nodal :

$$K_0K = \frac{\varphi_0(e\varphi_1 + e\varphi_2 + e'\varphi_1 - ee')}{\varphi_0\varphi_1 + \varphi_0\varphi_2 + \varphi_1\varphi_2 - e\varphi_0 - e\varphi_2 - e'\varphi_0 - e'\varphi_1 + ee'}$$

2e point nodal :

$$K_2'K' = \frac{\varphi_2(e\varphi_1 + e'\varphi_0 + e'\varphi_1 - ee')}{\varphi_0\varphi_1 + \varphi_0\varphi_2 + \varphi_1\varphi_2 - e\varphi_0 - e\varphi_2 - e'\varphi_0 - e'\varphi_1 + ee'}$$

2° Pour la valeur commune des deux distances focales du système :

$$\varphi = KF = K'F' = \frac{\varphi_0\varphi_1\varphi_2}{\varphi_0\varphi_1 + \varphi_0\varphi_2 + \varphi_1\varphi_2 - e\varphi_0 - e\varphi_2 - e'\varphi_0 - e'\varphi_1 + e}$$

Digitized by Google

lumière incidente peut pénétrer dans l'appareil. Chacun des points de l'objet ST (*) recouvre cette surface IAI′ d'un cône lumineux, et le faisceau de lumière incidente qui pénètre dans l'appareil est évidemment limité par les cônes ISI′, ITI′. — Le cône incident ISI′ est transformé par l'objectif M_0 en un nouveau cône DS′D′ qui, sous l'influence de l'oculaire M_1, devient le cône émergent de l'appareil RS″R′; de même le cône incident ITI′ émerge de la lunette suivant le cône QT″Q′. Ces deux cônes émergents limitent à leur tour le faisceau lumineux qui sort de l'appareil à travers l'oculaire.

Le faisceau émergent de la lunette éprouve donc en LL′ un véritable étranglement, et cette section LL′ de *minimum* d'étendue, sorte d'*anneau* que la lumière émergente traverse en éprouvant la plus forte condensation, est évidemment, comme l'indique la marche des rayons lumineux, l'image de la partie découverte IAI′ de la face antérieure de l'objectif M_0.

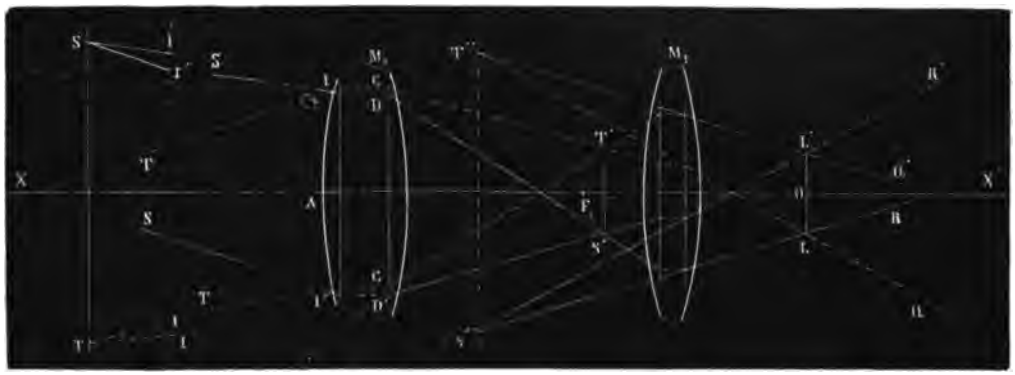


Fig. 293.

Le point O image du sommet A de la première face de l'oculaire, et la surface LL′ image de cette première face IAI′, ont reçu les dénominations de *point oculaire* et *anneau oculaire*.— Dans la lunette astronomique dont l'oculaire est convergent, l'anneau oculaire LL′ est *réel;* c'est en O que l'observateur doit placer son œil pour recevoir le plus de lumière possible et voir l'image S″T″ dans toute son étendue.

97. La connaissance de l'anneau oculaire est précieuse en ce qu'elle permet de déterminer le rayon émergent correspondant à un rayon incident quelconque dans un cas fort important auquel ne s'applique pas la théorie de Gauss.

Supposons qu'une lunette astronomique soit ajustée (fig. 294) de manière à faire coïncider en U le second foyer principal de l'objectif M_0 et le premier foyer principal de l'oculaire M_1, TT′ est à la fois le second plan focal de l'objectif M_0 et le premier plan focal de l'oculaire M_1. — En continuant à désigner par la lettre e l'intervalle K'_0K_1, nous avons :

$$e = K'_0U + K_1U = \varphi_0 + \varphi_1$$

D'où :

$$\varphi_0 + \varphi_1 - e = 0$$

Il en résulte que, dans ce système, les valeurs (93) des longueurs K_0K, K'_1K', et φ, deviennent infinies; en d'autres termes, les points nodaux et les foyers principaux de ce système dioptrique se reculent à l'infini, et les équations qui nous ont servi à déterminer les rapports de position et de grandeur linéaire d'un objet de son image ne sont plus applicables à ce cas-ci, puisque ces équations irréductibles contiennent la distance focale φ.

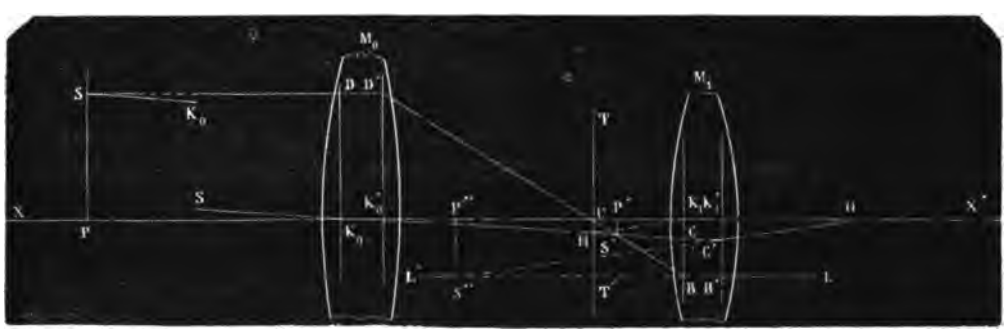


Fig. 294.

Soit SP un objet; le rayon incident SD, parallèle à l'axe principal, pénètre suivant D′U, la ligne de direction SK_0 pénètre suivant K'_0C parallèle à SK_0; ces deux rayons transmis se coupent en S′, et S′P′ est l'image réelle de SP formée par l'objectif. — Cette image S′P′ rayonne à son tour vers l'oculaire M_1; le rayon incident S′B venant du premier foyer principal U émerge suivant B′L parallèle à l'axe principal; le rayon incident S′C qui a percé le premier plan focal de l'oculaire en H émerge suivant C′O parallèle à K_1H; les prolongements de ces deux rayons se coupent en S″, et S″P″ est l'image *virtuelle* définitive de SP. Or il résulte de la construction que :

1° L'image définitive est toujours comprise entre l'axe principal et la droite LL′ qui lui est parallèle. Mais cette droite LL

(*) Dans les figures 293 et 294, l'objet, *extrêmement éloigné*, a dû être transporté parallèlement à lui-même, pour que tous les éléments de la démonstration pussent être mis sous les yeux du lecteur. — Des rayons incidents on n'a pu ainsi conserver que les extrémités représentées par des droites parallèles marquées des mêmes lettres.

Digitized by Google

reste évidemment à la même distance de l'axe principal, quelle que soit la position de l'objet SP par rapport à l'objectif. — Tant que l'objet SP reste le même, la grandeur de son image définitive $S''P''$ reste donc *constante* quelle que soit la distance de l'objet SP à l'objectif M_0 de la lunette.— D'ailleurs $S''P'' = BK_1$, $SP = D'K'_0$, et les deux triangles rectangles $D'UK'_0$, BUK_1 sont semblables; nous avons donc :

$$(4) \qquad \frac{S''P''}{SP} = \frac{K_1U}{K'_0U} = \frac{\varphi_1}{\varphi_0}$$

Telle est l'expression du grossissement linéaire *constant* de la lunette astronomique dans cet état d'ajustement, et comme la distance focale φ_1 de l'oculaire est toujours plus petite que la distance focale φ_0 de l'objectif, il en résulte que l'image définitive $S''P''$ est toujours plus petite que l'objet SP.

2° L'œil placé en K_0 et regardant l'objet SP sans le secours de la lunette doit faire décrire à son axe un angle égal à $SK_0P = HK'_0U$ pour amener successivement les rayons envoyés par l'objet dans la direction de la visibilité. — Quand, au contraire, l'œil placé en O regarde l'objet à travers l'instrument, les rayons envoyés par le bord extrême de l'objet lui arrivent sous l'angle $S''OP'' = HK_1U$. — Mais les tangentes des angles HK'_0U, HK_1U sont $\frac{HU}{K'_0U} = \frac{HU}{\varphi_0}$ et $\frac{HU}{K_1U} = \frac{HU}{\varphi_1}$, donc :

$$(5) \qquad \frac{\text{tang } HK_1U}{\text{tang } HK'_0U} = \frac{\varphi_0}{\varphi_1}$$

Telle est l'expression du grossissement angulaire de la lunette astronomique dans cet ajustement. — Ce grossissement est d'ailleurs *constant* et indépendant de la position de l'objet.

3° Il résulte de ces deux expressions que le grossissement angulaire et le grossissement linéaire sont inverses l'un de l'autre.

L'avantage de la lunette astronomique n'est donc pas de donner une image de dimensions linéaires supérieures à celles de l'objet. Mais, en augmentant le diamètre apparent de l'objet, elle permet de distinguer des points de cet objet qui se confondraient à l'œil nu.

98. Dans la lunette astronomique ainsi ajustée, la position et la grandeur de l'anneau oculaire sont faciles à déterminer. — En effet, U (fig. 295) étant toujours le lieu où se confondent le second foyer principal de l'objectif M_0 et le premier foyer principal de l'oculaire M_1, F_0 sera le premier foyer principal de l'objectif et F'_1 le second foyer principal de l'oculaire; TT' sera à la fois le second plan focal de l'objectif et le premier plan focal de l'oculaire.

L'objectif M_0 forme une image de sa première face II' dont il est facile de déterminer la position. II' est *à droite* du premier foyer principal F_0 et à une distance AF_0 de ce foyer; son image est donc (50) à *gauche* de U et à une distance l' de U dont la grandeur absolue est donnée (48) formule (4) par la relation:

$$l' = \frac{\varphi_0^2}{AF_0}$$

AF_0 étant plus petit que $\varphi_0 = K_0F_0$, l' est supérieur à $\varphi_0 = K'_0U$; cette image est donc virtuelle et droite. — A son tour, cette image de II' rayonne vers l'oculaire M_1, qui en forme en LL' une image réelle et renversée qui est évidemment l'anneau oculaire de l'appareil. La distance OF'_1 de cette image LL' au second foyer principal F'_1 de l'oculaire M_1 est donnée par la relation :

$$l' \times OF' = \varphi_1^2$$

d'où en remplaçant l' par sa valeur :

$$(6) \qquad OF'_1 = \frac{\varphi_1^2}{\varphi_0^2} \times AF_0 = \frac{\varphi_1^2}{\varphi_0} \times \frac{AF_0}{\varphi_0}$$

Or, comme AF_0 diffère très-peu de φ_0 la distance OF'_1 de de l'anneau oculaire LL' au second foyer principal F'_1 de l'oculaire M_1 est sensiblement égale à $\frac{\varphi_1^2}{\varphi_0}$ *.

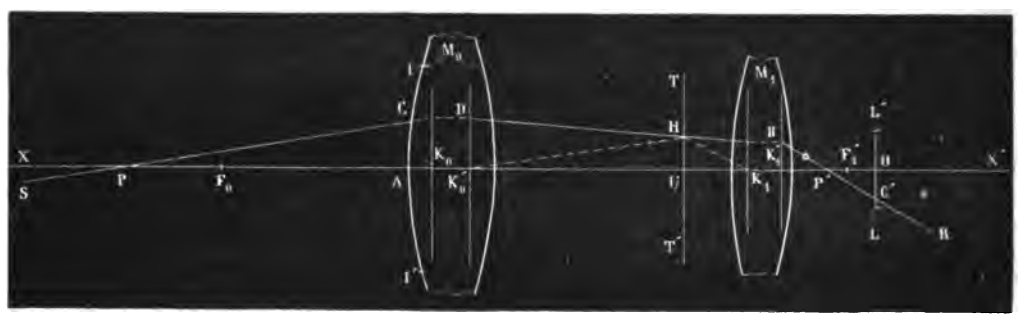


Fig. 295.

Quant à la grandeur de l'anneau oculaire LL', d'après les rapports établis (97) formule (4) elle est évidemment donnée par la relation :

$$\frac{LL'}{II'} = \frac{\varphi_1}{\varphi_0}.$$

99. La position et la grandeur de l'anneau oculaire LL' étant ainsi déterminées, soit SC un rayon incident quelconque qui fait avec l'axe principal un angle CPA et perce en C la première face de l'objectif. D'après les propriétés connues des plans focaux (47), ce rayon émerge de l'objectif suivant DH mené par le point H où le plan focal TT' est percé par la ligne de direction K'_0H parallèle au rayon incident SC, et finalement émerge de l'oculaire suivant BR parallèle à la ligne de direction K_1H. — Le point C' où ce rayon émergent BR perce l'anneau oculaire LL' est évidemment l'image du point d'incidence C.

OC' est donc l'image renversée de AC, et la position du point C' sur l'anneau oculaire est déterminée par la relation:

$$(7) \qquad \frac{OC'}{AC} = \frac{\varphi_1}{\varphi_0}$$

(*) Il est facile de voir que cette expression $\frac{\varphi_1^2}{\varphi_0}$ est la valeur de la distance du second foyer principal F'_1 de l'oculaire M_1 à l'image du premier point nodal K_0 de l'objectif M_0.

Digitized by Google

En second lieu, l'angle C'P'O est égal à l'angle HK_1U, et l'angle HK'_0U est égal à l'angle CPA, donc :

$$(8) \qquad \frac{\text{tang } C'P'O}{\text{tang } CPA} = \frac{\text{tang } HK_1U}{\text{tang } HK'_0U} = \frac{\varphi_0}{\varphi_1}$$

Il résulte de ces deux dernières équations que, la position de l'anneau oculaire LL' étant connue, il est facile de déterminer le rayon émergent BR correspondant à un rayon incident donné quelconque SC. En effet, l'équation (7) donne le point C' où le rayon émergent perce le plan de l'anneau oculaire, et l'équation (8) fait connaître l'angle C'P'O compris entre ce rayon émergent et l'axe principal.— D'ailleurs, tant que le point P où le rayon incident SC coupe l'axe principal est à *gauche* de A, le point P' où le rayon émergent BR coupe l'axe principal est aussi à *gauche* du point oculaire O. Dans le cas où le rayon incident coupe l'axe principal à *droite* de A, le rayon émergent coupe ce même axe à *droite* de O.

100. L'ajustement dont nous nous occupons est précisément celui de la lunette astronomique lorsque l'œil de l'observateur est normal, c'est-à-dire assez bien constitué pour que son foyer principal soit sur la rétine, — Dans ce cas, l'astre sur lequel la lunette est braquée est assez éloigné pour que les rayons envoyés par chacun de ses points à l'objectif puissent être considérés comme parallèles entre eux; dès lors l'objectif forme de cet astre une image excessivement petite située sur son second plan principal. Cette image à son tour rayonne vers l'oculaire et les rayons fournis par chacun de ses points émergent nécessairement parallèles entre eux. En effet :

Soit : SI, SK_0, SI' (fig. 296) le faisceau des rayons parallèles fournis par le bord supérieur de l'astre; tous ces rayons convergent en B sur le second plan focal TT' de l'objectif M_0. De même, tous les rayons incidents parallèles S'I', $S'K_0$, S'I fournis par le bord inférieur de l'astre convergent en B' sur le plan TT'. — BB' est l'image renversée de l'astre formé par l'objectif M_0.

Le point B rayonne à son tour vers l'oculaire M_1 et comme ce point est sur le premier plan focal de M_1, les rayons émergents R, R, R sont tous parallèles entre eux et à la ligne de direction BK_1. Pour la même raison, aux rayons incidents fournis par le point B' correspond un faisceau de rayons émergents R', R', R' parallèles entre eux et à la ligne de direction $B'K_1$.

En réalité donc, l'oculaire M_1 ne forme pas une image de l'astre. Mais, pour l'œil de l'observateur placé au point O, l'astre est vu à travers la lunette sous l'angle BK_1B', tandis que, sans le secours de la lunette, l'astre était vu sous l'angle $SK_0S' = BK'_0B'$. Le grossissement angulaire, dans ce cas, est donc, comme nous l'avons déjà dit plus haut (97) formule (5) :

$$\frac{\varphi_0}{\varphi_1}$$

101. *Lunette de Galilée.* — Tout ce que nous avons dit de la lunette astronomique s'applique à la lunette de Galilée ajustée pour un œil normal et pour un objet très-éloigné. — Dans ce cas, l'oculaire est une *lentille divergente* dont le premier foyer principal coïncide avec le second foyer principal de l'objectif, et comme la distance focale φ_1 de l'oculaire est *négative*, nous avons toujours :

$$\varphi_0 + \varphi_1 = e$$

Les grossissements linéaire et angulaire de la lunette sont *constants*, indépendants de la distance de l'objet visé, et inverses l'un de l'autre; le premier a pour valeur $\frac{\varphi_1}{\varphi_0}$ et le second $\frac{\varphi_0}{\varphi_1}$.

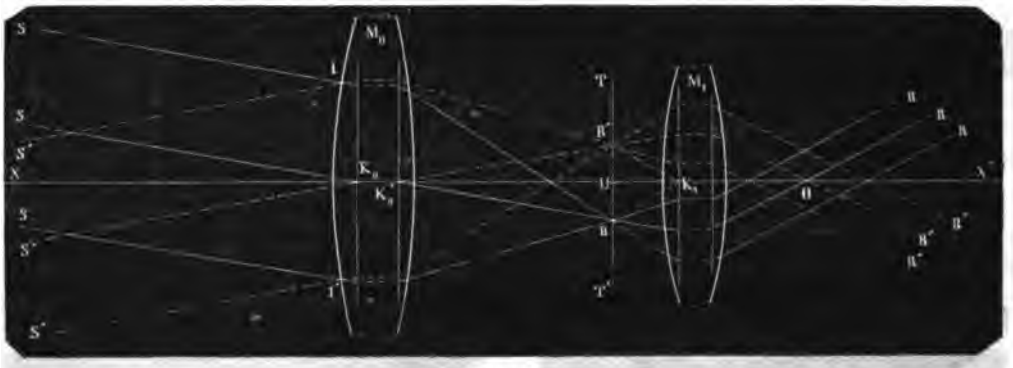


Fig. 296.

La position et les dimensions de l'anneau oculaire se déterminent de la même manière. Seulement cet anneau oculaire est *virtuel;* l'œil de l'observateur ne peut pas l'atteindre et doit se rapprocher le plus possible de l'oculaire M_1 de la lunette pour recevoir la plus grande somme de lumière émergente,

Quand l'objet visé est très-éloigné, chacun de ses points envoie à l'objectif un faisceau de rayons parallèles entre eux que l'oculaire transforme en un faisceau de rayons émergents également parallèles. — Le grossissement angulaire de la lunette, ou le rapport des tangentes des angles sous lesquels l'objet est vu à travers l'instrument et à l'œil nu, est donné par l'expression $\frac{\varphi_0}{\varphi_1}$.

DES APPAREILS DIOPTRIQUES DANS LESQUELS LA LUMIÈRE INCIDENTE ET LA LUMIÈRE ÉMERGENTE SE MEUVENT DANS DES MILIEUX INÉGALEMENT RÉFRINGENTS.

102. Nous nous occuperons d'abord de l'action d'une surface réfringente séparant deux milieux transparents quelconques; puis nous étudierons les propriétés des lentilles placées entre deux milieux d'indices de réfraction différents; enfin nous déterminerons les points cardinaux d'un système de lentilles associées et séparées par des milieux transparents de nature différente.

Digitized by Google

ACTION D'UNE SURFACE RÉFRINGENTE PLACÉE ENTRE DEUX MILIEUX TRANSPARENTS QUELCONQUES.

103. Soient : MN (fig. 297) une calotte sphérique de très-faible amplitude placée entre deux milieux transparents quelconques, C son centre de courbure, A son centre de figure, XX′ l'axe principal du système. — Appelons n_0 l'indice de réfraction du premier milieu dans lequel se meut la lumière incidente, n_1 l'indice du second milieu dans lequel se meut la lumière transmise. — L'indice de réfraction du second milieu par rapport au premier sera $\frac{n_1}{n_0}$. Nous supposerons, dans la figure 65, que la lumière pénètre par la convexité de la calotte sphérique MN et que n_1 est plus grand que n_0. Nous continuerons à désigner par la lettre r le rayon de courbure de la surface réfringente MN.

Comme nous l'avons établi (22), les *deux points principaux* de ce système se superposent au sommet A de la surface réfringente, par suite les *deux plans principaux* se confondent avec le plan tangent en A et avec la surface réfringente elle-même. — Tout rayon incident dont la direction passe par le centre de courbure C est normal à la surface réfringente et pénètre sans déviation ; par conséquent les *deux points nodaux* du système se confondent avec le centre de courbure C. — Nous n'avons donc à chercher que les *foyers principaux* de ce système dioptrique simple, pour compléter la détermination de ses éléments fondamentaux.

104. *Second foyer principal.*— Soient : SI (fig. 297) un rayon incident parallèle à l'axe principal et IR le rayon réfracté

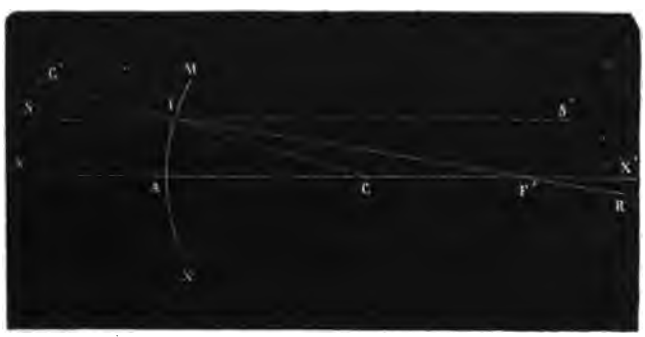


FIG. 297.

correspondant qui coupe en F′ l'axe principal XX′. Nous avons d'après les lois de la réfraction :

$$\frac{\sin\ SIC'}{\sin\ F'IC} = \frac{n_1}{n_0}$$

Mais, par construction, l'angle SIC′ est égal à l'angle ICA, de plus les angles ICA, ICF′ sont *supplémentaires*, donc :

$$\frac{\sin\ ICF'}{\sin\ F'IC} = \frac{n_1}{n_0}$$

D'autre part, dans le triangle ICF′, les sinus des angles sont dans le rapport des côtés opposés, ce qui donne :

$$\frac{\sin\ ICF'}{\sin\ F'IC} = \frac{F'I}{F'C} = \frac{F'I}{AF' - r}$$

Donc :

$$\frac{F'I}{AF' - r} = \frac{n_1}{n_0}$$

Mais, en raison de la très-faible amplitude de la surface MN, F′I est sensiblement égal à AF′. En substituant, nous avons :

$$AF' = \frac{n_1 r}{n_1 - n_0}$$

La valeur de AF′ étant indépendante de la position du point d'incidence I sur la surface réfringente, tous rayons incidents parallèles à l'axe principal sont nécessairement réfractés de manière à concourir au même point F′.

Le point F′ ainsi déterminé est donc le *second foyer principal*, et la longueur AF′ que nous désignerons par la lettre f' est la *seconde distance focale* du système, ce qui donne :

$$f' = \frac{n_1 r}{n_1 - n_0}$$

Mais nous avons aussi $CF' = AF' - CA = f' - r$, donc :

$$CF' = \frac{n_0 r}{n_1 - n_0}$$

105. *Premier foyer principal.* — Soient : SI (fig. 298) un rayon incident tel que le rayon réfracté correspondant IR pénètre dans le second milieu parallèlement à l'axe principal, et F le point où ce rayon incident coupe l'axe principal, nous avons :

$$\frac{\sin\ FIC'}{\sin\ RIC} = \frac{n_1}{n_0}$$

Mais l'angle d'incidence FIC′ est *supplémentaire* de l'angle FIC, l'angle de réfraction RIC est égal à l'angle ICF et dans le triangle FCI les sinus des angles sont proportionnels aux côtés opposés, donc :

$$\frac{FC}{FI} = \frac{n_1}{n_0}$$

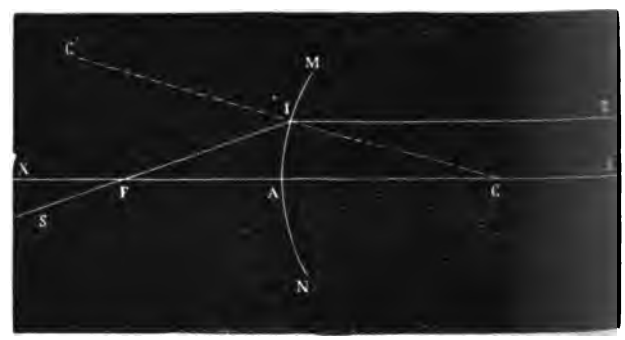


FIG. 298.

Mais $FC = AF + AC = AF + r$, et FI est sensiblement égal à AF. En substituant, nous avons :

$$AF = \frac{n_0 r}{n_1 - n_0}$$

La valeur de AF est indépendante de la position du point d'incidence I sur la surface réfringente, donc tous les rayons incidents qui passent par le point F pénètrent dans le second milieu parallèlement à l'axe principal.

Le point F ainsi déterminé est donc le *premier foyer principal* et AF que nous désignerons par la lettre f est la *première distance focale* du système, ce qui donne :

$$f = \frac{n_0 r}{n_1 - n_0}$$

Mais nous avons $CF = AC + CA = AF + r$, donc :

$$CF = \frac{n_1 r}{n_1 - n_0}$$

Digitized by Google

106. En résumé, dans le cas d'une surface sphérique placée entre deux milieux transparents d'indices n_0, n_1, la position des foyers principaux est déterminée par les deux relations suivantes :

1re distance focale : (1) $AF = f = \frac{n_0 r}{n_1 - n_0}$

2e distance focale : (2) $AF' = f' = \frac{n_1 r}{n_1 - n_0}$

d'où l'on déduit :

$$\frac{f'}{f} = \frac{n_1}{n_0}$$

Le rapport de la seconde à la première distance focale est donc égal à l'indice de réfraction du milieu dans lequel se meut la lumière transmise, par rapport au milieu dans lequel se meut la lumière incidente.

Les distances du premier et du second foyer principal au centre de courbure de la surface C réfringente sont :

$$CF = AF' = f' = \frac{n_1 r}{n_1 - n_0}$$

$$CF' = AF = f = \frac{n_0 r}{n_1 - n_0}$$

Les distances focales f, f' sont *positives* quand les foyers principaux sont *réels*, et *négatives* quand ces foyers sont *virtuels*. — Pour que les formules (1), (2) représentent les valeurs *réelles* de f, f' et indiquent les véritables positions des foyers principaux sur l'axe principal dans tous les cas possibles, quelles que soient les valeurs des indices n_0, n_1 et la position de la surface réfringente par rapport à la lumière incidente, il suffit de convenir que le rayon de courbure r est une quantité *positive* ou *négative* suivant que le centre de courbure C est situé du côté de la lumière *transmise* ou du côté de la lumière *incidente*.

107. *Plans focaux.* — Les plans focaux sont les plans perpendiculaires à l'axe principal menés par les foyers principaux F, F'. — Ils jouissent des mêmes propriétés que dans le cas où l'air est un des deux milieux réfringents (26) et (34); on le démontrerait de la même manière.

108. *Foyer d'un point lumineux situé sur l'axe principal.* — Soit (fig. 299) P un point lumineux placé sur l'axe principal. — Les propriétés des plans focaux permettent de construire son foyer P' situé aussi sur l'axe principal. — Ces points P, P' réciproques l'un de l'autre, sont des *foyers conjugués;* les considérations développées (27) et (35) montrent qu'ils satisfont à la relation suivante :

$$PF \times P'F' = ff'$$

En faisant $PF = l$ et $P'F' = l'$, la formule générale de foyers conjugués (*) est donc :

(3) $$ll' = ff'$$

109. *Foyer d'un point lumineux situé hors de l'axe principal.* — Soit S (fig. 301) au point lumineux quelconque situé hors de l'axe principal; son foyer est évidemment sur l'axe secondaire SCG mené par le point lumineux. — Les considérations développées (28) et (36) serviraient à démontrer que le point lumineux S et son foyer S' satisfont aux deux relations suivantes :

(4) $$\begin{cases} PF \times P'F' = ff' \\ \frac{S'P'}{SP} = \frac{f}{PF} \end{cases}$$

Fig. 299.

Lorsque les rayons incidents sont *homocentriques*, les rayons transmis le sont donc aussi. — Le point lumineux et son foyer se trouvent sur une même droite passant par le centre de la surface réfringente.

(*) En procédant comme dans la note (27) et (35), on passe facilement de l'équation (3) à la formule classique des foyers conjugués :

(a) $$\frac{n_1}{p'} + \frac{n_0}{p} = \frac{n_0}{f} = \frac{n_1 - n_0}{r}$$

dans laquelle p, p' sont les distances AP, AP' du point lumineux P et de son foyer P' au sommet A de la surface réfringente.

Fig. 300.

Transmission de la lumière à travers une surface plane MN. — Dans ce cas (fig. 300) $r = \infty$, ce qui donne pour formule générale des positions d'un point lumineux P et de son foyer P' :

(e) $$\frac{n_1}{p'} + \frac{n_0}{p} = 0$$

p, p' sont les distances AP, AP' du point lumineux P et de son foyer P' à la surface réfringente plane, comptées sur la perpendiculaire XX' à cette surface menée par le point lumineux P.

Digitized by Google

110. ***Rapports de position et de grandeur d'un objet et de son image.*** — Si SP (fig. 301) est un objet lumineux ou éclairé, S'P' est évidemment son image. Les rapports de position et de grandeur de l'objet et de son image sont donc déterminés par les deux équations (4).

111. ***Remarque.*** — Il est d'ailleurs évident qu'en faisant successivement $n_0 = 1$, $n_1 = n$ et $n_0 = n$, $n_1 = 1$ dans les formules relatives à ce cas général, et en tenant compte des conventions adoptées par le signe de r, on retombe sur les formules particulières relatives au quatre cas de transmission de la lumière étudiés dans l'hypothèse où l'air est un des deux milieux transparents.

FIG. 301.

DES LENTILLES PLACÉES ENTRE DEUX MILIEUX TRANSPARENTS QUELCONQUES ET DE NATURE DIFFÉRENTE.

112. Ce cas ne diffère de celui dans lequel les lentilles sont placées dans l'air qu'en ce que les *points nodaux* ne se confondent pas avec les *points principaux*. — Nous aurons donc à considérer, dans ces systèmes dioptriques, *six points cardinaux;* la méthode suivie jusqu'ici nous permettra de déterminer leur position sur l'axe principal. — Nous avons vu (109) qu'une surface réfringente placée entre deux milieux quelconques fait concourir les rayons transmis en un même point, lorsque les rayons incidents sont *homocentriques*. Il en résulte évidemment qu'un faisceau incident *homocentrique* émerge *homocentrique* d'un système composé d'un nombre quelconque de surfaces séparées par des milieux transparents quelconques.

Étant donnée la lentille MN (fig. 302), les lettres n_0, n_1, n_2 désignent les indices de réfraction du premier milieu dans lequel se meut la lumière incidente, de la substance de la lentille, et du dernier milieu dans lequel émerge la lumière. — Pour fixer les idées, nous supposerons n_1 plus grand que n_0 et que n_2; n_0 n'est pas égal à n_2. — Si nous appellons r, r' les rayons de courbure de la première face A et de la deuxième face A' de la lentille MN, nous aurons (106) formules (1) et (2):

Pour la première surface réfringente A :

1re distance focale : $$f_0 = \frac{n_0 r}{n_1 - n_0}$$

2e distance focale : $$f'_0 = \frac{n_1 r}{n_1 - n_0}$$

Pour la seconde surface réfringente A' :

1re distance focale : $$f_1 = \frac{n_1 r'}{n_2 - n_1}$$

2e distance focale : $$f'_1 = \frac{n_2 r'}{n_2 - n_1}$$

Dans ces formules, les rayons de courbure r, r' sont *positifs* ou *négatifs* suivant que le centre de courbure est du côté de la lumière émergente ou du côté de la lumière incidente.

113. ***Points principaux. — Plans principaux.*** — Soit MN (fig. 302) la lentille placée entre deux milieux transparents de nature différente. — Prenons sur l'axe principal $Aa = f_0$, $Aa' = f'_0$ les deux distances focales de la première face A de la lentille, et $A'b = f_1$, $A'b' = f'_1$ les deux distances focales de la seconde face A'. — Menons la droite LL' parallèle à l'axe principal et joignons les points I, I' où cette droite perce les deux faces de la lentille aux points a' et b. — Enfin du point S où les deux droites Ia', I'b se coupent, abaissons la perpendiculaire SO sur l'axe principal. — On prouverait par les considérations développées (42) que le pied O de cette perpendiculaire partage l'épaisseur $AA' = e$ de la lentille en deux parties qui satisfont aux conditions suivantes :

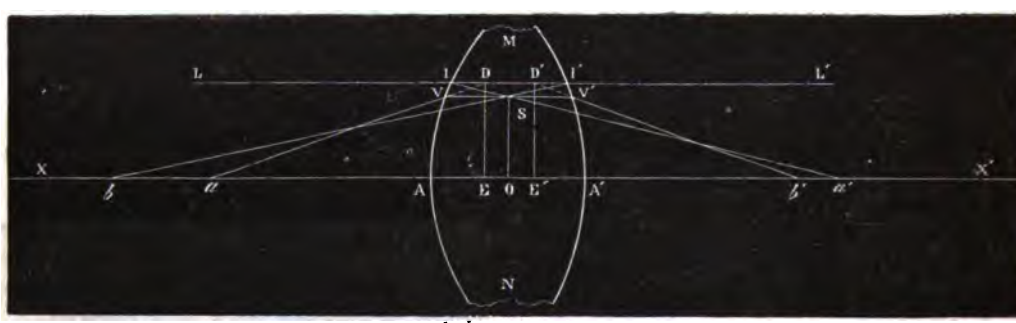


FIG. 302.

$$\frac{AO}{A'O} = \frac{Aa'}{A'b} = \frac{f'_0}{f_1} \quad \text{et} \quad AO + A'O = e$$

d'où l'on tire :

$$AO = \frac{ef'_0}{f'_0 + f_1} \qquad A'O = \frac{ef_1}{f'_0 + f_1}$$

Construisons les images DE, D'E' de la ligne SO regardée successivement à travers les faces A, A'. Il résulte évidemment de la construction que ces deux images sont droites et de même grandeur. Donc :

1° Les plans perpendiculaires à l'axe principal menés par

Digitized by Google

DE, D'E' sont le *premier* et le *second plan principal* de la lentille.

2° Les deux points E, E' images du point O sont le *premier* et le *second point principal* de la lentille.

D'ailleurs en suivant la marche précédemment adoptée (44), on démontrerait que la position de ces points principaux est déterminée par les deux relations suivantes :

$$AE = \frac{ef_0}{f'_0 + f_1 - e} \qquad A'E' \frac{ef'_1}{f'_0 + f_1 - e}$$

114. *Foyers principaux. — Distances focales.* — Connaissant la position des points et des plans principaux, il est facile de déterminer la situation des foyers principaux sur l'axe principal et la valeur des distances focales.

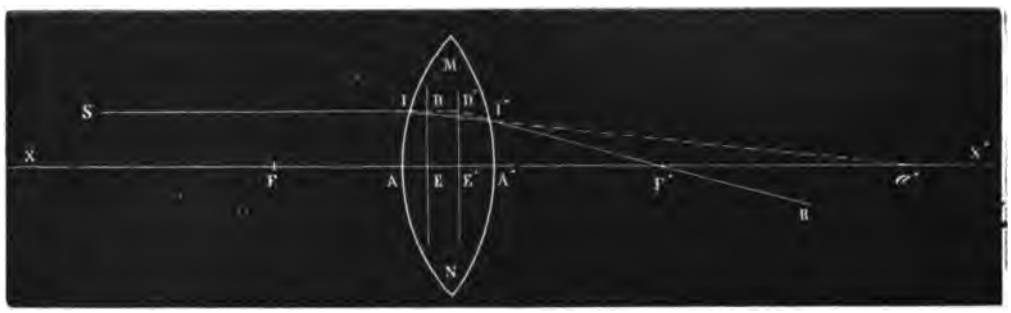


Fig. 303.

Soient (fig. 303) : E, E' les deux points principaux de la lentille, a' le second foyer principal de la première face A, SI un rayon incident parallèle à l'axe principal dont le prolongement perce en D' le second plan principal de la lentille. — Ce point D' appartient nécessairement à la direction du rayon émergent correspondant au rayon incident SI. — Mais la première face A réfracte le rayon incident SI suivant Ia' qui perce la seconde face A' en un point I' évidemment situé sur le rayon émergent. — D'I'B est donc le rayon émergent, et le point F' où il coupe l'axe principal est le *second foyer principal* de la lentille.

En suivant la marche précédemment adoptée (45) on trouve facilement pour la valeur de la *seconde distance focale* de la lentille E'F' = φ' :

$$\varphi' = \frac{f'_0 f'_1}{f'_0 + f_1 - e}$$

Une construction analogue donnerait pour valeur de la *première distance focale* de la lentille EF = φ :

$$\varphi = \frac{f_0 f_1}{f'_0 + f_1 - e}$$

Dans ce cas donc, les distances focales de la lentille ne sont pas égales. Mais d'après les relations établies (112) $f'_0 = \frac{n_1}{n_0} f_0$, $f'_1 = \frac{n_2}{n_1} f_1$. — La substitution de ces valeurs dans l'expression de φ', donne :

$$\varphi' = \frac{n_2}{n_0} \times \frac{f_0 f_1}{f'_0 + f_1 - e}$$

d'où l'on tire :

$$\frac{\varphi'}{\varphi} = \frac{n_2}{n_0}$$

Lors donc qu'une lentille est placée entre deux milieux de nature différente, le rapport de la seconde à la première distance focale est égal au rapport de l'indice de réfraction du milieu dans lequel se meut la lumière émergente à celui du milieu dans lequel se meut la lumière incidente.

Quand ce premier et ce dernier milieu sont de même nature, $n_2 = n_0$, $\frac{\varphi'}{\varphi} = 1$, les deux distances focales de la lentille sont égales.

115. *Points nodaux.* — Avant de procéder à la détermination des points nodaux, prouvons que les rayons incidents fournis par un point lumineux H placé sur le premier plan focal F émergent parallèles entre eux.

116. Le point lumineux H (fig. 304) fournit un rayon HB parallèle à l'axe principal qui émerge nécessairement suivant la ligne B'G qui passe par le second foyer principal F'. — Du point H part un second rayon incident HE dont le prolongement passe par le premier point principal E; le second point principal E' appartient à la direction du rayon émergent correspondant. Pour déterminer un second point de ce rayon émergent, prenons pour point lumineux un point quelconque S du prolongement de HE.

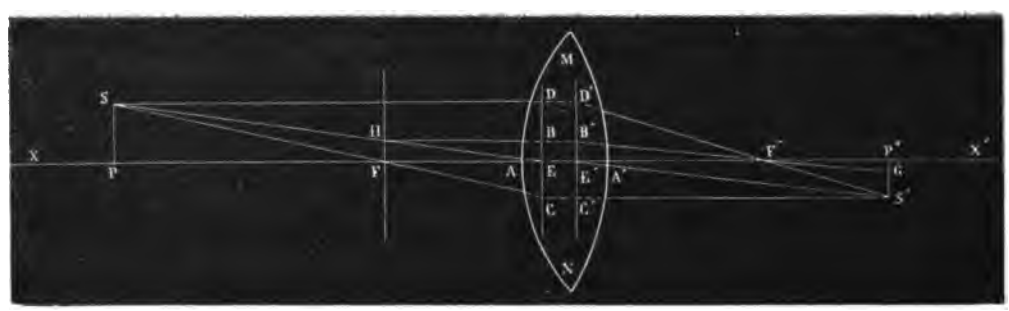


Fig. 304.

L'image du point S est nécessairement en S' au point d'entrecroisement des rayons émergents D'S', C'S' correspondants aux rayons incidents SD, SC. — E'S' est donc le rayon émergent correspondant au rayon incident SE. — Il s'agit de démontrer le parallélisme des deux rayons émergents B'G, E'S' correspondants aux deux rayons incidents HB, HE qui se croisent au point H du premier plan focal F.

Digitized by Google

Les deux triangles rectangles F'D'E', F'S'P' sont semblables par construction et donnent :

$$\frac{E'D'=SP}{S'P'}=\frac{E'F'}{P'F'}$$

Par la même raison, les triangles rectangles FSP, FCE donnent :

$$\frac{SP}{CE=S'P'}=\frac{PF}{EF}$$

Donc :

$$\frac{PF}{EF}=\frac{E'F'}{P'F'}$$

Les deux couples de triangles semblables F'D'B', F'S'G et F'B'E', F'GP' donnent :

$$\frac{B'D'}{S'G}=\frac{B'F'}{F'G}=\frac{E'F'}{P'F'} \qquad \text{D'où :} \qquad \frac{B'D'}{S'G}=\frac{PF}{EF}$$

Mais les triangles ESP, EHF sont aussi semblables, et

$$\frac{SP}{HF}=\frac{EP}{EF}$$

Ou :

$$\frac{SP-HF=B'D'}{HF=B'E'}=\frac{EP-EF}{EF}=\frac{PF}{EF}$$

D'où :

$$\frac{B'D'}{S'G}=\frac{B'D'}{B'E'} \qquad \text{Et :} \qquad S'G=B'E'$$

Donc enfin les deux rayons émergents E'S', B'G sont parallèles, le foyer du point lumineux H est à l'*infini* et tous les rayons émanés d'un point H situé sur le premier plan focal F émergent parallèlement entre eux.

117. Cela posé, il est facile de construire géométriquement les deux points nodaux de la lentille. — A partir du premier foyer principal F, prenons (fig. 305) sur l'axe principal une distance FK = E'F', et menons le rayon incident SK dont le prolongement passe par le point K ainsi déterminé.

Ce rayon incident perce en D le premier plan principal, le point D' du second plan principal appartient donc à la direction du rayon émergent correspondant. Mais ce rayon incident SK peut être considéré comme fourni par le point H où il perce le premier plan focal F, le rayon émergent correspondant D'R est donc parallèle à C'F'.

Or KF a été pris égal E'F' et par construction HF = C'E', donc les triangles rectangles KHF, F'C'E' sont égaux et C'F' est parallèle au rayon incident SK. Il en résulte que le rayon incident SK et le rayon émergent correspondant D'R sont parallèles et que KK' = DD' = EE', nous avons donc :

$$FK=F'E' \qquad KK'=E'E$$

D'où en ajoutant membre à membre FK' = F'E.

Donc K'F' = EF.

Le point K' se trouve ainsi déterminé indépendamment de toute hypothèse sur l'inclinaison du rayon incident SK, les points K, K' sont donc des foyers conjugués et tout rayon incident dont la direction passe par K émerge suivant une droite parallèle au rayon incident menée par K'; les points K, K' sont le *premier* et le *second point nodal* de la lentille.

118. Les éléments fondamentaux de la lentille placée entre deux milieux de nature différente se trouvent donc complétement déterminés par les relations suivantes :

1° Pour la position des deux points principaux E, E';

$$(1) \quad \begin{cases} AE=\dfrac{ef_0}{f'_0+f_1-e} \\ A'E'=\dfrac{ef'_1}{f'_0+f_1-e} \end{cases}$$

2° Pour les valeurs des deux distances focales EF, E'F' :

$$(2) \quad \begin{cases} \varphi=\dfrac{f_0f_1}{f'_0+f_1-e} \\ \varphi'=\dfrac{f'_0f'_1}{f'_0+f_1-e}. \end{cases}$$

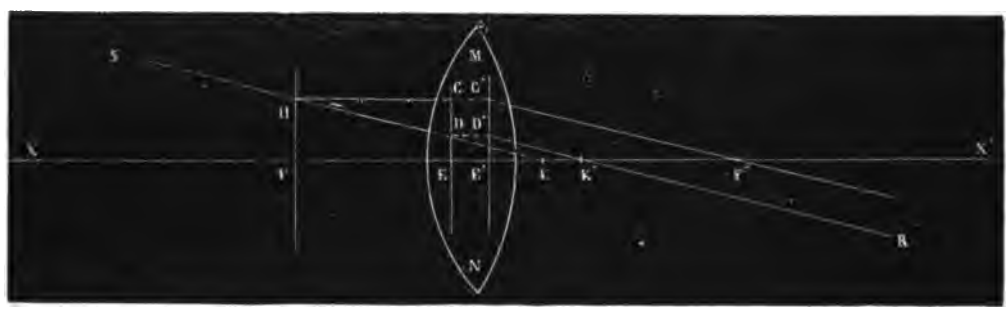


FIG. 305.

Nous savons d'ailleurs (114) que le rapport de la seconde à la première distance focale est égal au rapport de l'indice n_2 du dernier milieu réfringent à l'indice n_0 du premier;

$$\frac{\varphi'}{\varphi}=\frac{n_2}{n_0}$$

3° Les deux points nodaux K, K' satisfont aux deux conditions:

$$(3) \quad \begin{cases} KF=E'F'=\varphi' \\ K'F'=EF=\varphi \end{cases}$$

En continuant à admettre les conventions déjà adoptées pour les signes des quantités AE, A'E', φ, φ' et des rayons de courbure des surfaces réfringentes, ces formules restent vraies quelles que soient les valeurs des indices de réfraction n_0, n_1, n_2 des trois milieux transparents que la lumière traverse, et représentent les éléments fondamentaux d'une lentille de forme quelconque placée entre deux milieux d'indices quelconques.

GAVARRET.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE — NUMÉRO 42 — 15 SEPTEMBRE 1866

Paris, 14 septembre 1866.

M. Foucault a présenté une note à l'Académie des sciences sur un nouveau moyen d'affaiblir les rayons du soleil au foyer des lunettes, et de faciliter ainsi les observations du soleil qui sont aujourd'hui une des principales préoccupations des astronomes, et qui ont déjà fourni des données si précieuses à la physique astronomique.

Lorsqu'on veut étudier dans les grands instruments d'observatoire la constitution physique du soleil, dit M. Foucault, il est indispensable de recourir à certains procédés pour diminuer l'intensité de la lumière et de la chaleur qui se concentrent dans l'image focale. En plaçant un verre noir devant l'oculaire, on réussit, dans les premiers instants, à protéger l'œil contre l'intensité du rayonnement; mais si l'observation se prolonge et si l'objectif est à large ouverture, le verre s'échauffe et se brise en exposant l'observateur à l'action directe des rayons solaires. On croit parfois remédier à cet inconvénient en réduisant par un diaphragme l'étendue libre de l'objectif; mais c'est là un procédé qui n'agit qu'au détriment du pouvoir optique, et qui, par conséquent, ne supporte pas l'examen.

On a encore proposé de faire subir au faisceau une réflexion partielle sous l'angle de polarisation et d'armer l'oculaire d'un analyseur dont on varie l'azimut dans le but de diminuer à volonté l'intensité des rayons qui le traversent. On arrive effectivement par ce moyen à affaiblir les images sans leur donner de coloration appréciable, mais il est rare que par un traitement aussi compliqué la netteté ne soit pas sensiblement compromise. L'instrument perd de son pouvoir optique, et c'est là précisément ce qu'il faut éviter, si l'on veut tirer de l'emploi des grandes lunettes tout ce qu'elles peuvent nous apprendre sur les révolutions qui s'opèrent à la surface de l'astre.

Ayant été conduit par mon travail sur le télescope à argenter un grand nombre de miroirs de verre, j'ai eu bien souvent occasion de remarquer que la couche métallique dont l'éclat est si vif possède en même temps une transparence et une limpidité comparable à celle des plus beaux verres colorés. Cette transparence est telle qu'en regardant le soleil au travers de la minche couche d'argent, on aperçoit distinctement et sans aucune fatigue les moindres vapeurs qui viennent à passer sur le disque. J'en vins naturellement à supposer qu'un verre argenté pourrait remplacer les verres teintés et qu'il présenterait sur ces derniers le grand avantage de réfléchir tous les rayons qui ne passent pas au travers. Assurément une glace parallèle argentée sur une de ses faces et placée dans le corps de la lunette sur le trajet du faisceau devait offrir un moyen commode d'observer le soleil.

Mais puisque cette couche d'argent peut être considérée comme un milieu sans épaisseur, j'ai pensé qu'il serait préférable d'argenter l'objectif lui-même en laissant, d'ailleurs, absolument intacte l'organisation de la lunette astronomique. Je ne change donc rien aux oculaires, je laisse le micromètre en place avec ses fils et je me borne à argenter la surface extérieure de l'objectif. Par ce moyen l'instrument est protégé contre l'ardeur des rayons solaires qui sont réfléchis presque totalement vers le ciel, tandis qu'une minime partie de lumière bleuâtre traverse la couche de métal, se réfracte à la manière ordinaire et va former au foyer une image calme et pure, que l'on peut observer sans danger pour la vue. Le contour du disque se détache nettement sur un ciel noir, les taches se dessinent avec précision, les facules se montrent distinctement ainsi que le décroissement de lumière vers les bords, et dès le premier coup d'œil on se sent armé d'un puissant moyen d'investigation. La teinte vraie du soleil est un peu altérée par la prédominance des rayons bleus, mais les rapports d'intensité sont si bien conservés qu'on ne perd aucun détail et qu'au bout d'un certain temps l'œil, accoutumé à cette lueur bleuâtre, cesse d'en avoir le sentiment distinct.

Il est vrai qu'une lunette ainsi préparée est un instrument sacrifié, du moins pour un instant, à un seul objet. Peut-être trouvera-t-on que l'objet en vaut la peine. Au moment où les plus grandes questions s'agitent concernant la constitution physique du soleil, où les aperçus les plus neufs et les plus ingénieux tendent à nous dévoiler le mécanisme d'une aussi prodigieuse effusion de chaleur et de lumière, il ne serait sans doute pas sans intérêt de tenter une application sur un grand instrument.

En laissant de côté la question de savoir quelle peut être l'origine de la chaleur solaire, en considérant de parti pris la masse entière de l'astre comme étant douée d'une température initiale, ce qui semblait encore impénétrable c'était le mystérieux mécanisme de la réparation des pertes qui se font par rayonnement dans l'espace. Non-seulement ce mécanisme était inconnu, mais la question n'était même pas posée. A M. Faye appartient le mérite d'avoir fait remarquer, dans ces derniers temps, qu'en supposant la substance du soleil aussi conductrice que le plus conducteur des métaux, si la chaleur ne s'y transportait que par simple conductibilité,

sa surface ne conserverait pas un éclat permanent. Puis se fondant sur la théorie de la dissociation chimique de M. Henri Sainte-Claire Deville, M. Faye montre ensuite que dans ce pêle-mêle des éléments dissociés dont la masse est formée, se rencontre en toute probabilité les conditions de mobilité qui leur permettent de se transporter vers la périphérie pour s'y combiner tour à tour avec cette vive et inépuisable incandescence qui caractérise la photosphère. La chaleur est ainsi charriée avec les corps de la profondeur à la surface, et non transmise par voie de conductibilité à travers leur substance.

C'est ce renouvellement perpétuel de matériaux incessamment combinés et redissociés qu'il s'agit maintenant de saisir sur le fait. MM. Faye et H. Deville ont émis les idées premières; je m'estimerais heureux si je pouvais contribuer à mon tour à élucider un pareil sujet en fournissant quelque nouveau moyen d'observation.

A la suite de cette communication, M. Chevreul remarque que les feuilles d'or battu préparées sont douées d'une sorte de transparence, et demande si elle est due au passage de la lumière à travers la substance même de l'or, ou si elle tient simplement à son infiltration entre les interstices que présentent nécessairement ces feuilles métalliques obtenues par des moyens métalliques.

M. Foucault répond que, suivant lui, la coloration verte de la lumière transmise à travers l'or battu suffit à prouver que ce métal peut, ainsi que l'argent, laisser passer la lumière par transparence véritable; ce qui n'empêche pas que dans cet état de minceur extrême l'or ne présente de nombreuses lacunes visibles au microscope et qui livrent passage à une certaine quantité de lumière directe. Quelque chose d'analogue arrive également pour l'argent déposé dans certaines conditions, bien que le microscope ne puisse pas en fournir la preuve. Au moment de mettre les réactifs en présence il suffit d'altérer les proportions qui donnent une réaction franche pour que la couche d'argent précipité cesse de présenter la teinte bleue qui lui est propre. Tout porte à croire que la couche de métal ainsi formée n'a pas une continuité parfaite, car en la frottant avec une peau on augmente son éclat métallique, on diminue la quantité de lumière transmise, et l'on fait reparaître la couleur bleue. Évidemment sous la pression du polissoir de peau l'argent s'étend, les pores se ferment et la lumière ne trouve plus à passer qu'à travers l'argent même. Ce qui est démontré pour l'or et l'argent s'appliquerait sans doute à tous les métaux si l'on savait les réduire en lames suffisamment minces.

Dans la même séance, M. Phélipeaux a présenté les résultats d'expériences établissant que la rate extirpée chez de jeunes animaux et replacée ensuite dans la cavité abdominale, peut s'y greffer, continuer à y vivre et s'y développer.

Citons enfin d'importantes études faites par M. Favre, professeur à la faculté des sciences de Marseille, sur les réactions chimiques, à l'aide de la chaleur empruntée à la pile. E. A.

ASSOCIATION BRITANNIQUE

POUR L'AVANCEMENT DES SCIENCES.

(SESSION TENUE A NOTTINGHAM.)

M. GROVE, PRÉSIDENT

(membre de la Société royale de Londres).

Discours d'ouverture de la session. — Récents progrès des sciences. — La continuité dans la nature.

SOMMAIRE. — Les étoiles filantes et les planètes nouvelles. — Le spectre des nébuleuses, des comètes et des étoiles. — La physique lunaire. — Les perfectionnements futurs du télescope. — La théorie dynamique de la chaleur. — La continuité dans la nature. — Corrélation et transformation des forces physiques. — Force et matière. — Les taches et la chaleur du soleil. — Le ralentissement de la rotation de la terre. — Sources chimiques de la force musculaire. — Les périodes glacières. — La continuité en géologie. — Les générations spontanées. — L'origine et les transformations des espèces.

Messieurs,

Si nos grossiers ancêtres, les anciens habitants des cavernes qui abondent dans les environs, pouvaient sortir de leurs tombeaux et voir cette ville dans l'état où elle est aujourd'hui, il est probable que leur intelligence ne serait pas assez développée pour qu'ils puissent ressentir même un sentiment de surprise.

Les machines dont vous vous servez pour fabriquer des produits jouissant d'une réputation universelle, — machines si délicates dans leur construction que je ne saurais mieux les comparer qu'à des êtres organisés, — et les forces de la matière employées pour mettre ces machines en mouvement distancent de si loin les conceptions des races semi-barbares auxquelles j'ai fait allusion, que ces hommes ne pourraient sans doute pas même éprouver un étonnement intelligent à la contemplation de ces merveilles.

Et cependant, c'est pas à pas que cet immense progrès s'est accompli; dans certains cas seulement il a été un peu plus rapide; mais en somme, si nous considérons l'ensemble du progrès, nous devons reconnaître qu'il a été graduel, bien que son mouvement s'accélère maintenant chaque jour. D'ailleurs ce ne sont pas seulement les connaissances naturelles appliquées aux arts économiques et aux manufactures qui ont ainsi progressé; on peut dire que notre siècle a surpassé toute période antérieure d'égale durée dans ce qu'il a accompli pour l'étude de notre planète et des êtres organiques qui la couvrent, et même de l'univers entier, aussi loin que notre vue, aidée par le télescope, a pu faire pénétrer nos observations.

Il serait difficile de retracer toutes les causes qui ont conduit à cet accroissement de nos connaissances.

Le bonheur ressenti chaque fois que de nouvelles vérités sont mises au jour, l'épanouissement des facultés, l'extension des limites de nos connaissances, sont aux yeux des penseurs des motifs assez puissants pour les engager à étudier la nature; tandis que le côté utilitaire, la certitude, le caractère progressif des découvertes des sciences naturelles, ont fait comprendre aux esprits plus positifs que la science est le grand instrument qui nous permet de satisfaire nos besoins journaliers, et que c'est elle aussi qui contribue à augmenter notre comfort, notre luxe, notre puissance.

La formation de sociétés s'appliquant à faire progresser, soit les connaissances naturelles en général, soit des branches spéciales de ces connaissances, est aussi une cause importante des progrès rapides de la science. Depuis la fondation de la Société Royale de Londres, il y a maintenant plus de deux cents

Digitized by Google

ans, un grand nombre de sociétés semblables se sont établies et dans notre pays et dans toute l'Europe. Ces sociétés présentent de nombreux avantages; elles permettent à ceux qui s'adonnent aux recherches scientifiques de combiner, de comparer, de contrôler leurs observations; le choc des idées active le développement des recherches entreprises; la Société met sa fortune à la disposition de ceux qui en sont jugés dignes, elle constitue un tribunal compétent où le savant envoie ses remarques, et par la discussion qu'elles provoquent, il se procure les renseignements dont il a besoin, et peut juger s'il est bon de continuer ses recherches; enfin elle se charge de publier les mémoires qui en sont dignes.

Ces avantages et bien d'autres appartiennent à l'association dont nous inaugurons ce soir la trente-sixième réunion; mais le caractère intermittent et péripatétique de cette association offre des avantages que ne présentent aucune des sociétés qui s'assemblent toujours dans la même ville. Au nombre de ces avantages sont la nouveauté et la fraîcheur d'une assemblée annuelle, qui, tout en provoquant la réunion des anciens membres de l'association, provoque l'adjonction de nouveaux membres qui viennent apporter une nouvelle vigueur à notre association.

La visite de savants étrangers, que nous ne connaissions jusque-là que de réputation, est aussi une cause de progrès, une source de jouissances.

Enfin, et peut-être le plus grand avantage des visites annuelles de ce grand parlement de la science dans de nouvelles localités, c'est que ces visites, tout en augmentant les connaissances locales des membres, stimulent les esprits engourdis ou timides, effet qui, loin de cesser avec la réunion de l'association, ne commence souvent qu'au moment même où cette réunion est terminée.

Tous les admirateurs des sciences physiques doivent désirer qu'elles soient enfin reconnues par les institutions de notre pays qui, plus que toutes les autres, peuvent contribuer à leur développement. Vous admettrez probablement avec moi que les principaux établissements d'instruction d'un côté, que de l'autre le gouvernement dans sa sphère d'action, sont les institutions qui peuvent le mieux satisfaire ce besoin. Quand l'esprit est dirigé jeune vers une étude, quelle qu'elle soit, les impressions reçues sont plus profondes et plus durables, plus grands aussi sont les services qu'on peut attendre de l'homme.

> Quo semel est imbuta recens, servavit odorem
> Testa diu...

Si l'on veut réussir dans les recherches scientifiques, il faut commencer jeune l'étude de la science; on trouve rarement un homme qui, sans cette condition, soit arrivé à quelque supériorité. Rien ne saurait aider davantage aux progrès de la science que les travaux de ceux qui ont acquis de bonne heure l'ἦθος, résultat d'une éducation scientifique. Ce n'est pas que je désire me plaindre des retards qu'ont mis nos écoles publiques et nos universités, sauf quelques exceptions, à reconnaître l'importance de la science. Ces grands établissements ont leurs racines dans les périodes historiques; il faut beaucoup de temps, beaucoup de patience, avant de pouvoir greffer une nouvelle ligne de pensée sur une tige qui lui est exotique. Je ne voudrais pas non plus qu'on négligeât l'étude des langues, de l'histoire, de tous ces grands travaux que l'antiquité nous a transmis. Mais n'est-il pas possible de combiner ces deux points de vue? Il est triste de voir le nombre considérable d'hommes, soi-disant instruits, qui voyagent sur les chemins de fer, sur les bateaux à vapeur, qui consultent l'almanach pour y trouver l'heure du lever du soleil ou la date de la pleine lune, et qui ne savent pas même superficiellement ce que c'est qu'une machine à vapeur, un baromètre ou un octant. Combien y en a-t-il qui écouteront à demi convaincus les prédictions les plus absurdes quant au temps et à l'influence des comètes, qui ignorent complétement la cause des vents alisés, ou la forme de la route d'une comète? Pouvons-nous espérer que la légère infiltration d'études scientifiques qui se produit si heureusement s'étendra jusqu'à ce que ces études finissent par occuper leur part légitime dans l'éducation des jeunes gens, et que ceux qui peuvent savamment discourir sur le digamma éolique, ne seront pas honteux de connaître les principes sur lesquels reposent la machine pneumatique, la machine électrique ou le télescope, et ne mépriseront pas ces connaissances comme le faisaient les contemporains de Bacon.

Affirmer que le gouvernement devrait encourager l'étude des sciences peut paraître une vérité banale, et cependant il y a bien peu de temps qu'il le fait d'une manière sérieuse. Consulter les savants sur les questions importantes d'intérêt national est maintenant une habitude journalière, et je ne doute pas que, dans un espace de temps qui peut paraître long aux individus, mais qui n'est qu'un jour dans la vie d'une nation, les savants qui consentiront à abandonner les recherches bien plus tentantes de la science abstraite pour s'occuper de ses applications pratiques ne soient employés à de grands travaux par la nation. Sous ce rapport, nous devons nous féliciter des observations faites dans le rapport de la commission de Kew, qui nous est présenté cette année. L'observatoire de Kew, l'enfant chéri de l'Association britannique, deviendra sans doute un important établissement national.

C'est là un des résultats un progrès général de la science et tout particulièrement aussi du résultat des travaux de notre association. Mais je ne me propose pas aujourd'hui de récapituler les résultats spéciaux obtenus par cette association : cette tâche a été remplie avec talent par plusieurs de mes prédécesseurs; je ne veux pas non plus restreindre mon discours aux progrès accomplis dans la science depuis que mon excellent ami et savant prédécesseur vous les a exposés l'année dernière à Birmingham. Vous trouverez les détails de tous ces progrès retracés pas à pas dans les différents rapports présentés aux sections, dans les communications savantes qui vous seront faites, et que vous discuterez sans doute pleinement et en toute liberté.

Permettez-moi de vous soumettre quelques remarques sur ce qui s'est fait dans la science depuis une époque comparativement récente, sur les recherches qui ont conduit aux résultats acquis, et enfin, autant qu'il est possible de s'en faire une opinion, sur le caractère général des découvertes modernes.

Il me semble que le but que nous nous proposons serait mieux rempli, si chaque président, choisis comme nous le sommes à tour de rôle pour représenter les différentes branches de la science, au lieu de s'en tenir à un simple résumé de ce qui s'est fait depuis la dernière réunion de l'Association, ce qui limite sa sphère d'utilité et fait de son discours un simple procès-verbal annuel, si chaque président, dis-je, examinait à fond les branches dont il s'est plus particulièrement

Digitized by Google

occupé, ou s'il énonçait ses idées sur le progrès général de la science.

Il est inutile que je m'arrête sur le thème banal, mais important des avantages matériels résultant de l'application de la science : j'examinerai ce que, dans mon humble opinion, je considère comme les leçons que nous avons apprises, et l'avenir probable des progrès dans les connaissances naturelles.

Un mot vous donnera la clef de ce dont je vais vous entretenir. Ce mot, c'est la *continuité;* ce n'est pas un nouveau mot, je ne lui donne pas un nouveau sens, je l'emploie seulement dans un sens plus général qu'on ne l'a peut-être fait jusqu'à présent. A moins que je ne me trompe beaucoup, nous verrons que nos connaissances,—qu'elles procèdent de l'observation, de l'expérience ou de la déduction,—s'obtiennent par des degrés si petits qu'on pourrait dire qu'ils forment une montée continue; ou bien, quand on obtient des résultats distincts en apparence des phénomènes coordonnés, plus tard les progrès ultérieurs de la science font découvrir les chaînons intermédiaires unissant ces résultats distincts aux phénomènes qui nous sont plus familiers.

Ainsi, plus nous cherchons, plus nous trouvons que dans les phénomènes existants prévaut une gradation certaine, et que, dans les changements produits par le temps, un progrès graduel est et doit être apparemment le cours de la nature.

Essayons d'appliquer cette méthode aux progrès les plus récents obtenus dans les principales branches de la science.

En astronomie, depuis le temps où l'on regardait la terre comme une vaste plaine entourée par l'Océan, alors qu'on considérait le soleil, la lune et les étoiles comme des lanternes, servant à illuminer cette plaine, chaque découverte successive a apporté avec elle des similitudes et des analogies entre cette terre et la plupart des objets de l'univers, que nos sens, aidés d'instruments, nous ont fait connaître. Je laisse, bien entendu, de côté les découvertes qui ont établi l'exactitude du système de Copernic, appliqué à notre soleil, aux planètes qui l'accompagnent et à leurs satellites. Les preuves que la gravitation existe en dehors de notre système solaire, et qu'elle agit dans l'univers tout entier, ont acquis une nouvelle force par les travaux de bien des membres de cette association : Je nommerai seulement ceux qui ont été présidents, lord Rosse, lord Wrottesley et sir J. Herschel : les deux derniers ont surtout étudié les orbites des étoiles doubles; et le premier, ces systèmes, probablement plus récents, que nous appelons les nébuleuses. Les étoiles doubles semblent être des globes analogues à notre propre soleil, tournant autour de leur centre commun de gravité dans la courbe d'une section conique, comme le font les planètes de notre système solaire. Mais les nébuleuses soulèvent plus de difficultés, et l'on s'est demandé si la gravitation, telle que nous la considérons, agit sur ces corps, au moins sur ceux qui affectent une forme en spirale, comme elle agit sur nous. Peut-être y a-t-il quelque autre influence modificatrice dont nous ignorons l'existence, ce qui cause ces difficultés apparentes actuelles. Il y a aussi une autre classe d'observations qui ont pris tout récemment une grande importance, et qui forment un sujet spécial dans les rapports et les transactions de cette association : je veux parler des recherches faites sur les météores. L'étude des météores avait été entreprise avec ardeur par feu notre ami le professeur Baden Powell; cette association a provoqué la formation d'une commission de recherches, et, à notre réunion de l'année dernière, M. Glaisher nous a communiqué une série de cartes stellaires disposées de façon que les observateurs puissent y indiquer les observations qu'ils font sur les étoiles filantes.

Ce serait vous retenir trop longtemps que d'entrer dans les détails des travaux de Bessel, de Schwinke, de feu sir J. Lubbock, et de tant d'autres pour la formation de ces cartes; c'est un sujet qu'étudient maintenant avec succès M. Alexandre Herschel (1), M. Brayley, M. Sorby et quelques autres savants.

Le docteur Olmstedt a expliqué que le point d'où les lignes de fuite des météores semblent rayonner, est le point de fuite en perspective de leurs courbes parallèles ou presque parallèles, pour un observateur placé sur la terre, quand les météores s'en approchent. L'uniformité de position de ces points de rayonnement, les nombreuses observations confirmatives quant à la direction, la distance et la vélocité de ces corps, le fait que leur route coupe l'orbite de la terre à certaines époques définies, l'impossibilité de défendre toute autre théorie, alors qu'il n'y a aucune difficulté considérable à adopter celle dont nous venons de parler, tout fournit des témoignages, qu'on pourrait presque appeler des preuves, que ce sont des corps cosmiques, se mouvant par la gravitation dans l'espace interplanétaire autour du soleil, quelques-uns peut-être autour des planètes. Cette explication nous donne un nouvel élément de continuité. L'univers ne serait plus ainsi l'immense espace vide que l'on croyait; il serait rempli, entre les masses plus considérables, et par conséquent plus visibles, d'une quantité de petites planètes, si l'on peut appliquer ce nom aux météorites.

A l'époque où ces météores se présentent en plus grand nombre, des observations ont été faites à Greenwich par M. Glaisher, à Cambridge par le professeur Adams, et à Hawkhurst par M. Alexandre Herschel; et tout est préparé dans ces occasions pour que ces observations se fassent avec autant d'exactitude qu'il est possible d'en obtenir dans l'état actuel de nos connaissances.

Le nombre des astéroïdes connus, ou corps plus petits que ce qu'on appelle les anciennes planètes, s'est accru par de nombreuses découvertes, si bien qu'au lieu de sept planètes, nous en comptons actuellement quatre-vingt-huit. Le nom de M. Hind brillera toujours au premier rang dans ces recherches.

En considérant l'exiguïté de ces planètes, dont la plus petite n'a guère que trois ou quatre milles de diamètre, et en songeant surtout que nous sommes bien loin d'avoir étudié les autres parties du ciel avec autant de soin que la zone comprise entre Mars et Jupiter, nous pouvons dire, sans nous écarter de la vérité, qu'entre les astéroïdes et ces météores, il existe des corps de grandeur intermédiaire en si grande quantité que tout notre système solaire est rempli de corps planétaires variant en grosseur depuis celle de Jupiter, qui a un volume 1240 fois plus grand que celui de la terre, jusqu'à celle d'un boulet de canon ou mieux d'une balle de pistolet.

Les recherches de le Verrier sur les planètes inférieures à Mercure confirment cette idée, et il ne s'écoulera sans doute plus un autre demi-siècle avant qu'il soit prouvé que les espaces interplanétaires, qui nous semblent actuellement

(1) Nous publierons prochainement une conférence de M. Alexandre Herschel à l'Institution royale de la Grande-Bretagne *sur les étoiles filantes* en 1865-1866.

Digitized by Google

vides, sont remplis de petits corps qui, jusqu'à présent, ont échappé à nos observations, de même que les astéroïdes n'étaient pas connus avant Olbers et Piazzi.

Mais ce n'est pas l'observation télescopique seule qui nous prouve cette continuité dans l'univers; la chimie et l'optique physique nous en fournissent aussi des preuves. Les corps météoriques qui, de temps en temps, passent si près de la terre que l'attraction les fait tomber à la surface de notre globe, nous donnent, quand nous les analysons, des métaux et des oxydes semblables à ceux qui composent notre sol; on pourrait donc les regarder comme des voyageurs qui nous apportent des spécimens des minéraux des régions extraterrestres.

Dans une série de mémoires, récemment communiqués à l'Académie des sciences de France, M. Daubrée a discuté les caractères chimiques et minéralogiques des météorites en les comparant à la composition de la terre. Il trouve que la similitude des roches terrestres et des météorites s'accroît à mesure que nous pénétrons plus avant dans la croûte de la terre, et que quelques minéraux trouvés à une grande profondeur, tels, par exemple, que l'olivine, l'herzolite, la serpentine, ont une composition presque identique avec celle des météorites. A mesure que nous rapprochons de la surface, on trouve des roches dont les substances constituantes sont semblables à celles qui composent les météorites, mais dans un état d'oxydation, ce qui modifie nécessairement beaucoup leur caractère minéral, et ce qui, en impliquant des composés oxygénés secondaires, doit aussi changer leur constitution chimique. Il est parvenu, par expérience, à former, au moyen de roches terrestres, des substances qui ressemblent beaucoup aux météorites. Ainsi est établie, entre cette terre et ces voyageurs des régions éloignées, une grande parenté, mais non une identité parfaite, preuve encore incomplète, il est vrai, d'une origine commune.

On s'est souvent étonné de ce que, la gravité spécifique moyenne de ce globe étant de cinq à six fois celle de l'eau, la gravité spécifique moyenne de la croûte terrestre soit à peine à moitié aussi grande. J'ai toujours pensé qu'il n'y a pas lieu d'en être surpris. L'extérieur de notre planète est oxydé jusqu'à une profondeur considérable; très-probablement il n'y a pas d'oxygène à l'intérieur, les corps qui s'y trouvent sont donc à l'état réduit, et, s'il en est ainsi, leur gravité spécifique doit nécessairement être plus grande que celle de leurs oxydes ou de leurs chlorures, etc. Nous savons, en outre, que quelques minéraux situés à une grande profondeur ont une gravité spécifique plus grande que la moyenne de ceux situés à la surface; la gravité spécifique de l'olivine, par exemple, est de 3,3. Il n'y a donc pas d'improbabilité à priori à ce que la gravité spécifique moyenne de la terre soit notablement plus forte que celle de sa surface. Si nous allons plus loin, si nous supposons que l'intérieur de la terre soit formé des mêmes substances que l'extérieur, moins l'oxygène, le chlore, le brome, etc., une gravité spécifique de 5 à 6 ne serait pas extraordinaire. Bien des corps élémentaires formant une portion considérable de la croûte terrestre sont aussi légers ou plus légers que l'eau, le potassium, le sodium, etc, par exemple; d'autres, tels que le soufre, la silice, l'aluminium, ont de deux à trois fois sa gravité spécifique; d'autres, tels que le fer, le cuivre, le zinc, l'étain, sept à neuf fois; d'autres enfin, le plomb, l'or, le platine, etc., sont beaucoup plus denses; mais, en règle générale, les plus denses sont les plus rares. Il ne paraît pas improbable que le mélange de ces substances produise une gravité spécifique moyenne de 5 à 6, quoiqu'il ne s'ensuive pas,—et les probabilités sont plutôt pour le contraire,—que la proportion de ces substances à l'intérieur de la terre soit la même qu'à l'extérieur. Ce serait un travail intéressant que de déterminer la gravité spécifique moyenne de tous les minéraux connus à la surface de la terre, d'estimer, autant que faire se peut, la quantité de chacun à la surface, et tout cela en supposant qu'ils existent sans oxygène, sans chlore, etc., éléments avec lesquels, sauf quelques rares exceptions, on les trouve toujours combinés à la surface de la terre. Des recherches semblables augmenteraient beaucoup nos connaissances sur la constitution probable de la terre.

Tandis que la chimie analytique et synthétique nous aide ainsi à déterminer les rapports qui existent entre notre planète et les météorites, une autre science, l'optique, nous révèle les rapports qui existent entre elle et les autres planètes, le soleil, les étoiles et les autres systèmes.

Jusqu'à ces derniers temps on aurait regardé comme une supposition extravagante l'idée que la lumière, en passant d'un médium transparent à un autre, portait avec elle des renseignements sur la composition de la source dont elle émane.

Il est inutile que j'entre dans des détails sur les découvertes de Kirchhoff, de Bunsen, de Miller, de Huggins et de tant d'autres; mon prédécesseur l'a fait l'année dernière. Admettons donc que l'analyse par le spectre indique la présence d'une substance donnée, par la position de raies brillantes verticales, quand cette substance brûle, et de raies obscures quand la lumière produite par ces substances est transmise à travers leurs vapeurs, quoique Plücher ait prouvé que dans quelques substances, ces raies varient avec la température. Le point important pour ce qui nous occupe à présent, c'est que, tandis que ce que nous pourrions appeler les corps cosmiques voisins donnent des raies identiques avec celles produites par les éléments constituant notre globe, nous n'avons plus, si nous étudions les nébuleuses, qu'une ou deux raies semblables, mais nous avons trouvé deux nouvelles bandes qu'on n'a pas pu encore identifier avec aucune de celles que produisent les substances terrestres.

Dans le courant de l'année dernière, M. Huggins a ajouté à ses anciennes recherches des observations sur le spectre d'une comète (Comète I de 1866). La tête ne produit qu'une raie brillante, et le spectre produit par la lumière de la queue est continu; ce qui semblerait indiquer que la tête est un gaz, tandis que la queue serait formée de matière dans un grand état de division et réfléchissant la lumière: cette queue est-elle solide, liquide ou gazeuse? C'est incertain; mais M. Huggins pense qu'elle est dans une condition analogue à celle d'un brouillard ou d'un nuage. La raie brillante produite par la tête occupe la même position que la raie de l'azote, raie qui se retrouve aussi dans quelques nébuleuses.

Mais ce que l'analyse par le spectre a produit, sans contredit, de plus remarquable, ce sont les observations faites sur une étoile temporaire qui parut tout à coup cette année dans la constellation de la couronne du Nord, à environ un degré S. E. de l'étoile ι. Quand cette étoile parut le 12 mai, elle était presque égale à une étoile de la seconde grandeur; quand elle fut observée, le 16 mai, par M. Huggins et le docteur Miller, son éclat était réduit à celui d'une étoile de la

Digitized by Google

troisième ou de la quatrième grandeur. Examinée par le spectroscope, elle donna un spectre qui, selon ces observateurs, ne ressemble à aucun de ceux produits par les corps célestes qu'ils ont examinés.

La lumière était composée et émanait de deux sources différentes. L'un des spectres était analogue à celui du soleil, c'est-à-dire produit par la lumière d'une photosphère incandescente, solide ou liquide, dont les raies brillantes étaient absorbées par les vapeurs d'une enveloppe plus froide que cette photosphère. Le second spectre consistait en quelques raies brillantes indiquant que la lumière qui le produisait émanait de matières à l'état de gaz lumineux. La position des deux raies brillantes semblerait indiquer que ce gaz était de l'hydrogène ; et en comparant leur éclat à celui de la lumière de la photosphère, ce gaz devait être porté à une très-haute température. M. Huggins et le docteur Miller pensent que le phénomène résulte de la combustion de l'hydrogène avec quelque autre élément et que la photosphère devient incandescente à cause de l'énorme température produite par cette combustion.

Il y a tout lieu de croire que cette étoile est une étoile observée par Argelander et sir J. Herschel ; et que c'est probablement une étoile variable à période longue ou irrégulière. Il est remarquable aussi que les raies du spectre qu'elle donne correspondent à celles qui sont produites par plusieurs étoiles variables. Le temps de son apparition a été trop court pour qu'on pût essayer de déterminer sa parallaxe. Il eût été important de pouvoir établir que cette étoile est à une grande distance de nous, car la grandeur réelle d'un tel phénomène dépend de la distance à laquelle il se passe. Je ne me permettrai de faire aucune hypothèse sur la cause de ce remarquable phénomène. Quelque incomplets que soient les résultats de semblables observations, c'est un grand triomphe que d'avoir pu étudier cet objet passager et d'avoir obtenu des données qui pourront servir aux observations futures.

Il semblerait qu'un changement graduel se produit dans les objets les plus éloignés que nous connaissions jusqu'à présent, et que plus loin nous pénétrons dans l'espace, plus les corps que nous y observons sont différents des corps placés auprès de nous : soleil, planètes, météorites, terre, ont une constitution analogue quoique non identique ; les étoiles, au contraire, diffèrent les unes des autres et de notre système, et les nébuleuses, plus éloignées encore, sont entièrement différentes de tous ces corps célestes par leurs caractères et leur constitution.

Alors que nous pouvons ainsi, jusqu'à un certain point, étudier la constitution physique des corps visibles les plus éloignés, n'y a-t-il pas lieu d'espérer que ce genre de recherches amènera quelques connaissances nouvelles sur la constitution du corps placé le plus près de nous, notre propre satellite ?

La lune a-t-elle une atmosphère ? C'est là une question qui n'est pas encore résolue. Si elle en a une, elle doit être excessivement petite et très-atténuée. Les calculs faits sur l'occultation des étoiles, sur les différences apparentes du demi-diamètre brillant et obscur de la lune donnent une différence qu'on pourrait attribuer à une petite atmosphère, mais que M. Airy attribue à l'irradiation.

En supposant que la lune soit composée des mêmes substances que la terre, il est tout au moins douteux qu'il s'y trouve assez d'oxygène pour oxyder les métaux dont elle est formée ; dans ce cas, la surface que nous voyons serait entièrement métallique ou à très-peu près. L'aspect des cratères de la lune est assez semblable à ce que serait la surface de certains métaux, le bismuth, par exemple, ou, selon le professeur Phillips, l'argent quand il se refroidit après la fusion et au moment où il se solidifie. Il serait intéressant de rechercher, dans le cas où il y aurait une couche d'oxyde à la surface de la lune, si cette couche serait assez mince pour nous permettre d'apercevoir les couches métalliques telles qu'elles se sont solidifiées après la fusion. Les observations récentes de M. Chacornac le conduisent à supposer que plusieurs cratères lunaires sont le résultat d'une seule explosion qui aurait soulevé la surface comme une bulle dont les débris se seraient déposés autour de l'orifice d'éruption.

Les éruptions à la surface de la lune n'ont certainement pas eu lieu toutes à la même époque, car, sur bien des parties du disque, on peut voir des cratères qui ont empiété sur des cratères plus anciens et qui les ont déformés, quelquefois même trois ou quatre fois de suite. Un examen attentif de ces parties de la lune pourrait, selon moi, résoudre deux questions importantes. En observant avec soin, au moyen des télescopes les plus puissants, les crêtes ainsi formées, on pourrait indiquer les états successifs de la surface lunaire à différentes époques ; et, en outre, de même que sur la terre nous devons nous attendre à une nouvelle action volcanique, là où les éruptions récentes ont eu lieu, de même sur la lune il faudrait chercher des traces d'éruptions aux endroits qu'on aurait reconnus comme les plus récemment actifs. On pourrait citer parmi les lieux de la lune présentant ces caractères Metius et Fabricius, qui, selon M. Chacornac, présentent des déplacements successifs et qui sont entrecoupés de nombreux canaux ou cavités. M. Chacornac pense que les mers, comme on les appelle, ou portions plus unies de la surface lunaire, ont empiété quelquefois sur des cratères antérieurement formés ; s'il en est ainsi, une partie de la surface de la lune doit avoir été à l'état de fusion, liquide, semi-liquide ou d'alluvion longtemps après que les autres parties s'étaient solidifiées. Il serait difficile de supposer que cet état fût celui de la fusion proprement dite ; car, dans ce cas, les autres parties aussi eussent probablement été fondues ; d'un autre côté, l'absence totale de toute trace d'eau et de toute atmosphère, ou tout au moins, s'il y en a une, une atmosphère si atténuée, prêterait difficilement à la supposition d'une grande formation diluvienne.

Sur la terre quelques substances, comme le mercure, ont pu rester liquides après que les autres s'étaient solidifiées. Mais, avant de se prononcer plus positivement, il faut de nouvelles recherches et de nouvelles études.

Je ne peux quitter le sujet de la physique lunaire sans exprimer tout ce que nous devons à notre dernier président pour ses précieuses recherches, et pour les peines qu'il a prises afin d'organiser une troupe d'observateurs qui se dévouent à l'étude de notre plus proche voisin céleste ; et sans exprimer aussi à M. Nasmyth et à M. de la Rue combien sont importants leurs dessins graphiques et photographiques de la lune. Le caractère granulé de la surface du soleil, observé par M. Nasmyth, est aussi une découverte qu'il ne faut pas laisser passer inaperçue.

Avant de quitter l'astronomie, je ne puis m'empêcher d'exprimer un certain sentiment de désappointement. Le

Digitized by Google

télescope astronomique, qui a rendu tant de services à cette science, conserve encore dans la pratique un grand défaut, reconnu il y a un siècle déjà, au temps de Hall et de Dallond, c'est l'inexactitude de définition produite par ce que l'on a appelé l'aberration du spectre, ou les divisions incommensurables des spectres formés par le flint-glass et les crown-glass.

Les magnifiques résultats obtenus par Blair n'ont pas été efficaces, parce qu'il employait entre les lentilles des liquides s'évaporant facilement et qu'il en résultait un manque d'uniformité dans l'instrument; malgré le haut degré de perfection auquel Clarke, Cooke et Mertz ont porté le polissage des objectifs, malgré les progrès de toute sorte dans la manufacture des télescopes, le défaut auquel je viens de faire allusion existe toujours et gêne beaucoup l'observateur qui emploie le télescope réfringent.

Nous possédons actuellement une grande variété de différentes sortes de verres faites de divers oxydes métalliques. M. Jacquelain en a, il y a quelques années, dressé la liste. Le dernier spécimen que j'aie vu est un verre pesant, très-réfringent, fait par M. Lamy avec le métal thallium. Ne serait-il pas possible, au milieu de toutes ces espèces de verres, d'en choisir deux ou trois qui, doués d'un pouvoir réfracteur et d'un pouvoir dispersif suffisants, aient les espaces colorés de leurs spectres respectifs, sinon absolument dans la même proportion, au moins dans une proportion plus exacte que celle du flint-glass et du crown-glass? Ne pourrait-on pas aussi se servir de substances huileuses ou résineuses, ayant une action puissante sur le vert ou la portion colorée moyenne du spectre, telles que l'huile de ricin, le baume de Canada, etc., et les combiner avec des lentilles de verre pour réduire au moins, sinon pour détruire tout à fait ce défaut. Ce n'est pas là un problème dont la solution me semble bien difficile. Pourquoi ne l'a-t-on pas encore trouvé? C'est, je crois, parce que les grands opticiens pratiques n'ont pas le temps d'entreprendre de longues expériences ou de longs calculs, et que, d'un autre côté, les opticiens théoriques n'ont pas les machines, n'ont pas le talent de manipulation nécessaires pour donner aux substances sur lesquelles ils expérimentent le degré de perfection requis. Le résultat cependant est digne des travaux qu'on pourrait entreprendre; car, si l'on pouvait remédier à ce défaut, le télescope réfringent serait au télescope acromatique ce que ce dernier était au télescope à une seule lentille.

Après que la gravitation, la constitution physique, l'analyse chimique par le spectre, nous ont prouvé que la matière a, dans d'autres mondes, des caractères semblables à ceux qu'elle possède sur la terre, si nous passons à la considération de ses autres attributs, attributs qu'à une certaine époque on considérait comme des espèces particulières de la matière elle-même, ou, comme on les appelait, des impondérables, mais qui sont, aujourd'hui généralement sinon universellement reconnus comme des forces ou des modes de mouvement, — nous trouverons des preuves encore plus frappantes de continuité.

Quand tout ce qu'on savait du magnétisme était qu'un morceau d'acier frotté sur un certain minéral acquérait le pouvoir d'attirer le fer, et, s'il était librement suspendu, de se diriger à peu près suivant le méridien terrestre, cela semblait un phénomène exceptionnel. Quand on observait que l'ambre frotté avait le pouvoir temporaire d'attirer les corps légers, cela semblait aussi une particularité et une anomalie. Que sont devenus aujourd'hui le magnétisme et l'électricité? Des forces si universelles, si apparemment liées à la matière qu'on les considère comme deux de ses attributions invariables, et que parler de matière qui ne serait pas sujette à être affectée par ces forces semblerait presque aussi extravagant que de parler de matière qui ne serait pas affectée par la gravitation.

Il en est de même pour la lumière, la chaleur, l'affinité chimique, et non pas seulement dans toutes les formes de la matière à nous connues qui peuvent manifester tous ces modes de force; une soi-disant matière incapable de semblables manifestations cesserait pour bien des penseurs d'être de la matière.

Bien plus, il me semble, — mais depuis plus d'un quart de siècle, j'ai pris une part si active à faire triompher cette opinion, qu'on ne me regardera peut-être pas comme un juge impartial, — il me semble, dis-je, qu'il est maintenant prouvé que toutes ces forces sont si invariablement liées l'une à l'autre, si intimement liées au mouvement, qu'on doit les regarder comme des modifications les unes des autres, et comme se résolvant objectivement en mouvement, et subjectivement en ce quelque chose qui produit ou arrête le mouvement, et que nous appelons force.

Vous me permettrez sans doute de rappeler une expérience oubliée que je fis il y a près de vingt-cinq ans à *London Institution*, expérience assez simple en elle-même, mais qui me semblait alors importante à cause des conséquences qu'on en pouvait déduire, conséquences dont l'importance sera aujourd'hui bien mieux appréciée qu'elle ne le fut alors.

Une série de roues multiplicatrices faisait tourner avec une extrême rapidité une petite roue métallique qui frottait contre la périphérie d'une roue de bois. Dans la roue métallique, je plaçais un petit morceau de phosphore; aussi longtemps que les roues tournaient, le phosphore restait intact, mais au moment où j'arrêtais la dernière roue, au moyen d'un petit levier disposé à cet effet, il s'enflammait. Je voulais prouver que, tant que le mouvement de la masse continuait, aucune chaleur ne se produisait, mais que lorsque ce mouvement était arrêté, la force continuant à agir, le mouvement de la masse se changeait en chaleur dans les molécules. L'expérience différait de celle de Rumford (le forage d'un canon) et de celle de Davy (le frottement de la glace) en ce qu'elle prouvait qu'il n'y avait pas production de chaleur tant que le mouvement était libre, et que la production de la chaleur provient, en quelque sorte, d'un obstacle opposé au mouvement. Nous sommes à présent si bien accoutumés à cette idée, que chaque fois que nous voyons un obstacle opposé à un mouvement, nous nous attendons à une production de chaleur, d'électricité ou de quelque autre force comme résultat nécessaire et inévitable.

Il serait inutile dans cette enceinte, — car ce serait traiter de sujets trop familiers au plus grand nombre de mes auditeurs, — de retracer par quels travaux Œrsted, Seebeck, Faraday, Talbot, Daguerre, et tant d'autres ont ouvert la voie à cette généralisation maintenant connue comme la corrélation des forces ou la conservation de l'énergie, tandis que Davy, Rumford, Séguin, Mayer, Joule, Helmholtz, Thomson et d'autres (parmi lesquels je ne placerais pas mon nom, si je ne craignais qu'on se méprit et qu'on pensât que j'ai abandonné tout droit à une part dans l'initiation de cette importante gé-

Digitized by Google

néralisation), ont accompli le travail; comment, enfin, la doctrine de l'interaction réciproque, du rapport quantitatif, de la dépendance nécessaire de toutes les forces, a, je pense que je puis le dire, été établie, quelquefois par des déductions indépendantes, mais le plus souvent presque simultanées, quelquefois par des découvertes progressives et accumulées.

Si le magnétisme est, comme cela est prouvé, lié à toutes les autres forces, à toutes les manières d'être de la matière, si les courants électriques produisent toujours, ainsi qu'on l'a également démontré, des lignes de force magnétique à angle droit avec leurs lignes d'action, le magnétisme doit être cosmique; car là où il y a de la lumière et de la chaleur, il y a de l'électricité, et par conséquent du magnétisme. Si nous pouvions reconnaître le magnétisme dans d'autres planètes ou dans d'autres soleils, comme une force se manifestant en lignes axiales ou méridiennes, c'est-à-dire, en lignes coupant à angle droit les courbes formées par leur rotation autour de leur axe, ce serait un grand progrès; mais c'est un progrès qui n'est pas encore accompli. Les coïncidences apparentes entre les maxima et les minima des taches du soleil et les périodes décennales d'intensité magnétique terrestres pourraient tendre à nous conduire à la connaissance du rapport que nous cherchons. Le président de la Société Royale pense que nous sommes actuellement à une époque de coïncidence, correspondant à la quatrième période décennale; mais les observations magnétiques faites à l'observatoire de Greenwich jettent quelques doutes sur ces coïncidences. Dans un mémoire publié dans les *Transactions* de la Société Royale, 1863, l'astronome royal dit, en parlant des résultats d'observations continuées pendant dix-sept ans, qu'il n'y a aucune apparence d'un cycle décennal dans le retour des grandes agitations magnétiques. L'année dernière, dans la section de physique de cette association, M. Glaisher a constaté, qu'après un examen persévérant, il n'a pu découvrir aucun rapport entre le magnétisme terrestre et les taches du soleil.

Cependant, M. Airy, dans un mémoire plus récent, suggère qu'on a découvert des courants magnétiques se rapportant à l'heure solaire, lesquels courants semblent produire des agitations circulaires; il invite les observateurs à porter leur attention sur ce sujet, qui est du plus haut intérêt, mais qui reste jusqu'à présent enveloppé de ténèbres.

Une des suggestions les plus étonnantes quant aux conséquences résultant de la théorie dynamique de la chaleur est celle faite par Mayer que, la perte de *vis viva* occasionnée par les frottements de la marée aussi bien que les entraves qu'elle apporte, pour ainsi dire, au mouvement de rotation de la terre, doit graduellement diminuer la vitesse de la rotation de la terre, et qu'ainsi, à moins qu'il n'existe quelque action compensatrice que nous ne connaissons pas, cette rotation doit enfin cesser, et par suite des changements qu'il est impossible de calculer se produire dans le système solaire.

M. Delaunay pense que partie de l'accélération du mouvement moyen de la lune, accélération qu'on ne peut plus expliquer maintenant par des influences planétaires, est due à ce ralentissement graduel de la rotation de la terre (1). Après de nombreuses recherches l'astronome royal a donné son adhésion à cette théorie.

Une autre hypothèse intéressante de Mayer, hypothèse que vous connaissez tous, c'est que la chaleur du soleil est produite par le frottement ou la percussion des météores tombant à la surface. Il y a, à l'adoption de cette théorie, quelques difficultés qui ne sont peut-être pas insurmontables. En supposant que de semblables corps cosmiques existent en quantité suffisante, comme ils tournent autour du soleil, ils tomberaient sur lui, non pas à la manière d'un aérolithe tombant sur la terre, — ce qu'il fait directement à cause d'une intersection d'orbites, — mais par une réduction graduelle de la grandeur des orbites, réduction produite par un médium résistant; quelque portion de force serait perdue, et une certaine quantité de chaleur engendrée dans l'espace par le frottement contre un tel médium; quand ils arriveraient au soleil, en supposant que, comme les planètes, ils tournent dans la même direction, ils se précipiteraient tous sur lui dans une direction définie, et nous pourrions nous attendre à en voir quelques symptômes sur la photosphère solaire. Mais quoique cette photosphère soit dans un état constant de mouvement, et que la direction de ces mouvements ait été étudiée avec soin par M. Carrington et d'autres observateurs, on n'a pu remarquer aucune direction générale semblable; et M. Faye, — qui, il y a quelque temps, écrivait un mémoire où il indiquait de nombreuses objections contre la théorie qui cherche à expliquer la chaleur du soleil par la chute à sa surface de corps météoriques, — a récemment étudié les mouvements des taches du soleil, croit pouvoir expliquer certaines anomalies apparentes et réduire leurs mouvements à une certaine réguarité dans le mouvement de la photosphère, régularité qu'on peut attribuer à quelque action générale provenant de la masse intérieure du soleil.

Si, comme on le suppose dans la théorie mécanique de la chaleur solaire, un nombre aussi considérable de corps existent près d'elles, on pourrait s'attendre à ce que les comètes, corps si légers, si facilement déviés de leur route, montrassent quelques symptômes qu'ils agissent sur elles par la gravitation.

En supposant que la théorie ondulatoire de la lumière soit vraie, et que le mouvement qui constitue la lumière soit transmis à travers l'espace interplanétaire par un éther très-élastique, à moins que ce mouvement ne se produise dans une seule direction, et à moins aussi qu'il n'y ait aucun empêchement, aucune viscosité, comme on dit aujourd'hui, et par conséquent aucun frottement, la lumière doit perdre quelque chose en venant des corps lumineux éloignés, c'est-à-dire doit perdre quelque chose en tant que lumière; car tous ceux qui réfléchissent sont maintenant convaincus que la force ne peut être anéantie; une force ne se perd pas, mais son mode d'action peut changer. Donc si la lumière est perdue comme lumière (et les observations de Struve semblent prouver qu'il en est ainsi, car elles montrent qu'une étoile peut être si éloignée de nous que nous ne parviendrons jamais à la voir parce que sa lumière est détruite en route avant de parvenir jusqu'à nous), que devient cette force transmise, perdue comme lumière, mais existant nécessairement sous quelque autre forme? Et la chaleur? notre soleil, notre terre, les planètes rayonnant constamment de la chaleur dans l'espace, selon toute probabilité les autres soleils, les étoiles, les planètes qui les accompagnent, en rayonnent aussi. Que

(1) Voyez la conférence de M. Delaunay, *Sur le ralentissement du mouvement de rotation de la terre*, dans le n° 20 de la *Revue des cours scientifiques*, 1866, page 321.

Digitized by Google

devient toute cette chaleur? Si l'univers n'a pas de limites, — et il est difficile de concevoir qu'il en ait une, — il y a une évolution constante de chaleur et de lumière; et cependant chaque corps cosmique émet plus qu'il ne reçoit, car autrement la nuit serait aussi claire et aussi chaude que le jour. Que devient donc la force énorme qui apparemment ne revient pas sous la même forme? Revient-elle sous forme de mouvement? Est-ce elle qui met ou contribue à mettre en mouvement soleils et planètes? Peut-on concevoir que ce soit une force semblable à celle que Newton regardait comme une force universellement répulsive, et qu'on pouvait substituer à l'attraction universelle? Nous sommes incapables pour le moment de répondre à de semblables questions; mais je ne connais aucun problème de la dynamique céleste qui soit plus profondément intéressant que celui-là, et peut-être sommes-nous aussi près d'une solution que l'étaient les prédécesseurs de Newton, quand ce puissant génie décrivit et démontra les rapports dynamiques si simples de la matière.

Si nous quittons les théories extra-terrestres pour entrer dans le champ plus étroit de la physique moléculaire, nous trouverons que la doctrine de la corrélation des forces poursuit sa route. Dans la *Bakerian lecture* de 1863, M. Sorby indique quelque chose qui n'est peut-être pas tout à fait une corrélation directe des forces mécaniques et chimiques, mais qui au moins s'en rapproche beaucoup; quand, soit par voie de solution, soit par l'action chimique, il se produit un changement de volume de la substance résultante, comparée avec celui de ses éléments constitutifs, la pression ralentit ou accélère le changement selon que la substance formée occupe un espace plus grand ou plus petit que celle occupée par les constituants séparés. L'application de ces expériences aux recherches géologiques, quant aux changements souterrains qui ont pu avoir lieu sous une grande pression, est frappante, et nous pouvons espérer de former, avec l'aide d'une compression artificielle, des composés qu'il eût été impossible d'obtenir sous la pression normale.

Au point de vue pratique, la possibilité de convertir un mode de force en un autre est de la plus haute importance. Par rapport à un sujet qui inquiète les esprits à présent, quoique prématurément, peut-être, l'épuisement de nos mines de charbon, il y a tout lieu de reprendre courage en pensant que nous pouvons à volonté produire de la chaleur en dépensant d'autres forces. Bien plus encore, nous pourrons probablement absorber ou emmagasiner, pour ainsi dire, la force diffuse; Berthelot, par exemple, a trouvé que l'énergie potentielle du formiate de potasse est beaucoup plus grande que celle de ses constituants immédiats, la potasse caustique et l'oxyde de carbone. Ce changement peut avoir lieu spontanément et à la température ordinaire, et par un tel changement l'oxyde de carbone recouvre, pour ainsi dire, l'énergie potentielle que son carbone possédait avant de se combiner avec l'oxygène, ou, en autres termes, l'oxyde de carbone est élevé comme possesseur de force à la place du carbone par l'absorption ou la conversion directe de la chaleur de la matière environnante.

Nous avons donc ici, quant à l'absorption de la force, un résultat analogue à celui de la formation du charbon par l'acide carbonique et l'eau; et, bien que ce soit là une simple expérience, bien qu'elle ne puisse jamais être économique sur une grande échelle, cependant, des exemples semblables doivent calmer nos appréhensions quant aux moyens futurs de nous procurer de la chaleur lorsque notre combustible actuel sera épuisé. De même que la force du soleil, qui s'est exercée il y a bien longtemps, nous est maintenant rendue par le charbon formé sous l'influence de cette lumière et de cette chaleur, de même les rayons du soleil, perdus en vain aujourd'hui, dira-t-on peut-être, dans les déserts de sable de l'Afrique, serviront un jour au moyen de la chimie et de la mécanique à éclairer et à chauffer les habitations des régions plus froides. La marée est aussi un grand réservoir de force dont on s'est à peine servi jusqu'à présent.

Les magnifiques recherches du professeur Tyndall sur la chaleur rayonnante indiquent, dans beaucoup de cas, le pouvoir de localiser la chaleur, si je puis m'exprimer ainsi, chaleur qui autrement se dissiperait.

Graham a découvert qu'en faisant passer l'air à travers des couches de caoutchouc, cet air laisse derrière lui une moitié de l'azote qui le compose ou, en autres termes, devient plus riche de moitié en oxygène et a, par conséquent, une énergie potentielle beaucoup plus considérable. Cette découverte nous donne non-seulement un exemple très-remarquable d'une action physique moléculaire devenant une action chimique, mais nous indique aussi les moyens d'emmagasiner la force, car la force qu'on a employée à faire passer l'air à travers le caoutchouc peut se retrouver, après quelque laps de temps que ce soit, en brûlant l'oxygène au moyen d'un combustible.

Il est impossible de prédire quels changements pourront avoir lieu dans le mode d'appliquer la force avant que les bassins houillers ne soient épuisés. Les conjectures mêmes quant à l'époque de leur épuisement sont incertaines. On tend dans la fonte des métaux à substituer au charbon l'action chimique liquide, ce qui, bien entendu, économise le combustible; le gaspillage du charbon est, en outre, considérable dans les opérations ordinaires, et déjà des procédés connus permettent une grande économie. Il est vrai qu'en ce moment nous sommes loin de connaître un moyen pratique qui nous permette de remplacer cet amas de force, les bassins houillers; mais nous pouvons avec confiance compter sur l'invention qui se produira dans ce cas, comme dans tous les autres, dès qu'elle sera devenue une nécessité.

Je n'irai pas plus loin sur ce sujet. Au moment où la science et la civilisation ne peuvent empêcher que le sang humain soit répandu à flots pour satisfaire l'ambition de quelques hommes turbulents, il me semble que c'est avoir par trop de sensibilité que de nous occuper de trouver les moyens pour nos descendants, à la dixième génération, de chauffer leurs maisons et de mettre leurs locomotives en mouvement.

M. Wilde et M. Holz ont obtenu récemment deux applications remarquables de la convertibilité de la force. Le premier a trouvé qu'en faisant passer l'électricité des bobines d'une machine magnéto-électrique à travers un électro-aimant, il augmente considérablement le pouvoir électrique, et qu'en faisant passer ce courant à travers un second et un troisième appareil électro-magnétique, la force s'augmente considérablement. Il est bien entendu que pour produire cette augmentation, il faut employer plus de force mécanique pour mettre en mouvement les machines magnéto-électriques; mais pourvu qu'on puisse produire cette force, il ne semble pas y avoir de limite à la convertibilité de la force mécanique en force électrique.

Digitized by Google

M. Holz a imaginé une machine électrique dans laquelle un principe semblable se manifeste. Une plaque de verre vernie tourne tout auprès d'une autre plaque sur laquelle sont fixés plusieurs morceaux de carton, que l'on électrise au moyen d'un petit morceau de verre ou d'ébonite. Dès que ceci est fait, l'opérateur qui tourne le manche de la machine sent une résistance, et la légère électrisation temporaire du carton convertit en un courant continu et intense d'électricité la force appliquée par le bras de l'opérateur.

Ces résultats promettent de nombreuses applications; ils prouvent que par un simple arrangement de la matière, une force peut être convertie en une autre, et cela non pas dans les limites étroites obtenues jusqu'à présent, mais proportionnellement à la force initiale, de telle sorte que par un léger changement dans l'appareil on a le moyen d'absorber et d'éliminer une force donnée sous une nouvelle forme. Comme il se peut que dans un avenir qui n'est peut-être pas très-éloigné, l'humanité ait besoin, pour des usages journaliers, de chaleur, de lumière et de force mécanique, après que nos ressources actuelles seront épuisées, plus nous pourrons inventer de nouveaux modes de conversion, et plus nous pourrons avoir l'espoir de suppléer à ces besoins. Il y a un mois à peine on a obtenu le plus grand triomphe de la conversion des forces. L'action chimique engendrée par un peu d'eau de mer sur quelques morceaux de zinc nous permet de converser avec les habitants de l'hémisphère opposé de cette planète. Le télégraphe transatlantique est un fait accompli.

La physiologie a fait des progrès considérables, grâce à l'étude des rapports existant entre les corps organisés et les forces extérieures; nous distinguerons tout particulièrement dans cette branche de la science les travaux de Carpenter, de Bence Jones, de Playfair, de E. Smith, de Frankland. Les végétaux sous l'influence de la lumière et de la chaleur décomposent l'eau, l'ammoniaque et l'acide carbonique, et les transforment, entre autres substances, en oxalate de chaux, en acide lactique, en amidon, en sucre, en stéarine, en urée, et enfin en albumine. L'animal et la pourriture végétale, au contraire, renversent la série et au moyen de l'albumine produisent l'urée, la stéarine, le sucre, l'amidon, l'acide lactique, l'oxalate de chaux, enfin l'ammoniaque, l'eau et l'acide carbonique.

Comme en outre la chaleur et la lumière sont absorbées ou converties pour former la synthèse qui se produit dans le végétal, l'animal vivant, au contraire, émet de la chaleur et quelquefois de la lumière. Mais il ne faut pas oublier que la ligne de démarcation entre un végétal et un animal est difficile à établir, qu'il n'y a pas une seule attribution particulière qui appartienne en propre à une des deux classes et que c'est uniquement au moyen d'un ensemble de caractères qu'on peut les définir.

Le chimiste dans son laboratoire peut simuler la série dont nous venons de parler. Il peut estimer approximativement, par l'examen des changements qui ont eu lieu dans le corps, le travail qu'a accompli un homme en vingt-quatre heures; les formes altérées de la matière indiquant l'exercice antérieur de la force dynamique. C'est une doctrine aujourd'hui généralement adoptée que l'action musculaire est produite ou soutenue par un changement chimique. On a longtemps pensé que le pouvoir musculaire provient de l'oxydation des substances albuminoïdes ou azotées ; mais des recherches récentes semblent prouver que cette oxydation accompagne plutôt qu'elle ne produit ce pouvoir, et que la vraie cause de la force musculaire est l'oxydation des composés carboniques ou hydrogénés. Traube s'est placé au premier rang comme défenseur de cette hypothèse, et des expériences, détaillées dans un mémoire publié cette année par deux professeurs suisses, MM. Fich et Wislicenus, expériences qu'ils ont faites sur eux-mêmes pendant une ascension au Faulhorn, tendent à la confirmer. Ils se nourrirent avant et pendant l'ascension d'amidon, de graisse et de sucre, évitant tous les composés azotés et ils trouvèrent qu'une semblable nourriture était amplement suffisante pour leur donner la force nécessaire à leur expédition, car ils ne ressentirent aucun épuisement. Un examen chimique convenable leur prouva qu'il n'y avait aucune augmentation notable dans l'oxydation des constituants azotés de leur corps. Après avoir calculé les équivalents mécaniques de la combustion effectuée, ils indiquent comme leur première conclusion que : « La combustion des substances protéiques ne peut pas être la seule source du pouvoir musculaire, car nous avons ici un exemple d'hommes accomplissant plus de travail que l'équivalent de la chaleur qui pourrait être produite par la combustion de l'albumine.»

Ils constatent, en outre, que non-seulement l'oxydation des substances albuminées n'est pas la source du pouvoir musculaire, mais que les substances, dont la combustion produit la force musculaire, sont les substances non azotées, les graisses, ou les hydrates de carbone.

Nous ne devons pas confondre la nourriture qui donne une force musculaire permanente avec celle qui ne produit qu'une activité temporaire; sans doute les carnivores sont les animaux les plus puissamment constitués, mais le chamois, la gazelle, etc., ont temporairement un grand pouvoir musculaire, quoiqu'ils se nourrissent exclusivement de végétaux; ils ne sont cependant pas les égaux des carnivores, quand il s'agit d'une énergie constante. Nous savons tous que les animaux domestiques qui se nourrissent de grains peuvent accomplir un travail plus considérable quand on leur donne pour nourriture les végétaux qui contiennent la plus grande quantité d'azote.

Ces recherches et bien d'autres semblables prouvent que dans la chimie, comme dans toutes les autres branches de la science, nous nous débarrassons graduellement de ces hypothèses qui, certainement, avaient ce grand avantage qu'elles se prêtaient à tous les besoins du théoricien.

Le phlogistique, disait Lavoisier en se moquant, était quelquefois lourd, quelquefois léger, quelquefois du feu à l'état libre, quelquefois du feu à l'état combiné; quelquefois il passait à travers le verre qui d'autres fois l'empêchait de passer; semblable à Protée on pouvait par son moyen expliquer la causticité et la non-causticité, la transparence et l'opacité, la présence des couleurs ou leur absence. Le phlogistique et d'autres créations semblables de l'esprit humain ont disparu, en même temps que les fluides hypothétiques, les matières impondérables, les éthers spécifiques, et d'autres inventions destinées à servir à tous les besoins des théoriciens, et je crois que le jour approche où l'on se débarrassera de tout le fatras qui existe encore et où les deux conceptions fondamentales de la matière et de la force suffiront pour expliquer tous les phénomènes physiques.

Les faits que nous ont révélés les recherches géologiques

Digitized by Google

sont des preuves frappantes de la continuité; mais, il faut le dire aussi, les abîmes qui séparent quelques-uns de ces faits peuvent servir d'arguments contre elle. La grande question qu'on se posait autrefois était celle-ci : ces différences représentent-elles des changements soudains dans la formation de la croûte terrestre, proviennent-elles de dislocations qui se sont produites depuis le dépôt originel des couches, ou du changement graduel des surfaces ? Il y a bien peu de géologues qui aujourd'hui n'adopteraient pas cette dernière alternative. Vient alors une seconde question : quand la formation géologique est d'un caractère continu, les caractères différents des fossiles représentent-ils des variétés absolument permanentes, ou peut-on les expliquer par des changements graduels.

Le professeur Ansted résumant les preuves qui s'appliquent à une division des roches stratifiées dit : « Les paléontologues ont essayé de séparer le lias en un certain nombre de subdivisions, et de caractériser ces différentes zones au moyen des ammonites, groupes d'espèces de coquillages. Les preuves à l'appui reposent sur la supposition de différences spécifiques qui seraient indiquées par des modifications permanentes de la structure de la coquille. Mais il est fort possible que ces différences proviennent seulement de changements dans les conditions d'existence. Il n'y a pas réellement de lacune paléontologique, si ce n'est peut-être entre les terrains marneux et le lias supérieur; des changements de forme et de grandeur provenant de milieux plus ou moins favorables et d'autres causes bien connues, expliquent suffisamment la plupart des modifications dans la forme de la coquille, modifications qui ont été prises pour des marques spécifiques. Ce qui confirme encore cette opinion, c'est le fait que d'autres coquillages et d'autres organismes ne montrent une lacune de quelque importance qu'au point dont nous venons de parler.»

Nous commençons à saisir quelques indices d'un rapport entre les études cosmiques et les recherches géologiques. Il y a, par exemple, quelques raisons de croire que nous pouvons expliquer bien des phénomènes géologiques par la variation de notre rotation autour du soleil; ainsi, il y a déjà plus de trente ans, sir J. Herschel proposa, comme explication des changements climatériques survenus à la surface de la terre et prouvés par les phénomènes géologiques, les changements d'excentricité dans l'orbite de la terre.

Il dit qu'il commença l'étude de ce sujet, « frappé de la magnificence que présentent les révolutions géologiques, quand on les regarde plutôt comme les efforts réguliers et nécessaires de grandes causes générales, que comme le résultat d'une série de convulsions et de catastrophes qui ne sont réglées par aucune loi, qu'on ne peut rapporter à aucun principe ».

Comme la distance moyenne de la terre au soleil est presque invariable, on pourrait penser, tout d'abord, que la quantité moyenne de chaleur et de lumière, que reçoit la terre, doit aussi être invariable; mais, d'après les calculs de sir J. Herschel, cette quantité est inversement proportionnelle au plus petit axe de l'orbite; dans ce cas, la quantité de chaleur serait moindre, quand l'excentricité de l'orbite de la terre approche de son minimum ou y est arrivée. M. Croll a voulu dernièrement prouver que le climat, tout au moins dans les régions circumpolaires et tempérées de la terre, dépend de ce que l'hiver, dans une région donnée, est arrivé quand la terre est à sa période de plus grande excentricité en aphélie ou en périhélie; si elle est en aphélie, la température moyenne annuelle serait plus basse; si elle est en périhélie elle serait plus élevée que lorsque l'excentricité de l'orbite de la terre est moindre, c'est-à-dire quand cet orbite se rapproche davantage d'un cercle. Il calcule que la différence dans la quantité de chaleur, à la période maximum d'excentricité de la terre, est comme 19 est à 26, selon que l'hiver a lieu quand la terre est en aphélie ou en périhélie. On peut brièvement résumer ainsi les raisons de ce fait. En supposant que la chaleur moyenne annuelle reste la même, quelle que soit l'excentricité de l'orbite, si les extrêmes de chaleur en été et de froid en hiver sont cependant plus éloignés les uns des autres, une température froide prévaudra, car il s'accumulera plus de neige et de glace pendant l'hiver froid que l'été chaud n'en pourra fondre, par suite de la présence de la vapeur d'eau, en suspension dans l'air; aussi, quand l'orbite de la terre est à sa plus grande excentricité, devons-nous avoir : des périodes glaciales dans ces parties de la surface terrestre où règne l'hiver quand la terre est en aphélie; des périodes carbonifères ou chaudes, si l'hiver règne quand la terre est en périhélie; enfin des périodes normales ou tempérées, quand l'excentricité de l'orbite est à un minimum; toutes ces périodes se confondent graduellement l'une dans l'autre, et doivent produire, à de longs intervalles, des époques alternatives de froid et de chaud dont la géologie nous offre plusieurs exemples.

Si cette théorie est fondée, nous aurons un moyen d'estimer approximativement le temps qui s'est écoulé entre les différentes époques géologiques. Les calculs de M. Croll établiraient qu'il s'est écoulé au moins cent mille ans, depuis la dernière époque glacière, laps de temps peu considérable dans la chronologie géologique; cette période est probablement encore beaucoup plus reculée.

Quand nous comparons aux vieilles théories de la terre, — qui expliquaient les changements apparents à la surface par des convulsions et des cataclysmes, — les théories modernes inaugurées par Lyell, votre ancien président, théories qui sont aujourd'hui presque universellement adoptées, il semble étrange qu'on n'ait pas, jusqu'au siècle présent, songer à attribuer les changements passés à des causes semblables à celles qui agissent actuellement. Mais dans la géologie comme dans toutes les autres branches de la science, l'idée la plus simple est ordinairement la dernière qui se présente à l'esprit. Il est bien plus facile d'inventer un *Deus ex machina* que d'indiquer l'influence de changements lents et continus; l'amour du merveilleux est infiniment plus attrayant que l'investigation patiente de la vérité, aussi trouvons-nous que le merveilleux a prévalu presque universellement dans les premiers âges de la science.

En astronomie on avait les sphères de cristal, les cycles et les épicycles; en chimie, la pierre philosophale, l'élixir *vitæ*, l'*archæus* ou démon de l'estomac et le phlogistique; en physique électrique, la notion que l'ambre avait une âme, et qu'un fluide mystérieux pouvait abattre un clocher; en géologie, on avait toujours à sa disposition un déluge ou un volcan; en paléontologie on créait une nouvelle race chaque fois qu'on en avait besoin, et l'on s'inquiétait fort peu de savoir comment ces nouvelles races avaient commencé.

Un observateur curieux pourrait dire à un paléontologue,

Digitized by Google

même de date récente, en se servant des paroles de Lucrèce :

Nam neque de cœlo cecidisse animalia possunt
Nec terrestria de salsis exisse lacunis.
. . . . . .
E nihilo si crescere possent,
(Tum) fierent juvenes subito ex infantibus parvis,
E terraque exorta repente arbusta salirent ;
Quorum nihil fieri manifestum est, omnia quando
Paulatim crescunt, ut par est, semine certo,
Crescentesque genus servant (1).

qu'on pourrait librement paraphraser ainsi : « Vous avez abjuré la foi à une créature primitive, faite à une époque donnée ; vous ne pouvez affirmer que l'éléphant existait quand les premiers sauriens parcouraient la terre et l'eau. Donc sans limiter en quoi que ce soit le pouvoir du Tout-Puissant, si un éléphant a été créé sans ancêtres, le premier éléphant a dû physiquement arriver de quelque façon sur cette terre. D'où est-il venu ? Est-il tombé du ciel (c'est-à-dire des espaces interplanétaires)? A-t-il été fait avec un morceau de terre ou de rocher amorphe? Est-il sorti de la greffe d'un arbre? S'il n'avait pas d'ancêtres, il faut bien lui attribuer quelque commencement semblable. » Je ne connais pas un seul écrivain scientifique qui, depuis que les découvertes de la géologie sont devenues familières, ait osé expliquer en termes intelligibles comment un tel événement a pu se produire. Ceux qui n'admettent pas quelque idée de continuité se contentent de dire : Dieu l'a voulu. Mais ne serait-il pas plus respectueux, plus philosophique, de rechercher par l'observation et l'expérience, et de raisonner par induction et par analogie, les probabilités d'interventions miraculeuses si fréquentes ?

Je sais que je touche à une question délicate, et qu'il s'écoulera peut-être encore bien longtemps avant que nous ayons atteint ce calme nécessaire à la recherche de la vérité, calme que des associations semblables à celle-ci doivent essayer de faire prévaloir. Mais je crois que les membres de cette association sont assez libres de préjugés, quelles que soient d'ailleurs leurs opinions, pour admettre que l'on recherche si ce que nous appelons les espèces sont ou ont été rigoureusement déterminées, si elles ont, à de nombreuses périodes, été créées complètes et immobiles, ou si, d'une façon ou d'une autre, elles n'ont pas graduellement et infiniment changé ; si, enfin, les modifications dues à l'influence des milieux, aux efforts qu'elles ont dû faire pour s'accommoder à ces milieux, à ce qu'on appelle la sélection naturelle, ou la nécessité de céder à une force supérieure dans la lutte pour l'existence, comme le pense notre illustre compatriote Darwin, n'ont pas modifié les organismes de façon à leur permettre d'exister dans des conditions différentes. Je ne veux pas mettre en avant mes propres thèses, je ne veux pas défendre une théorie spéciale, mais comme j'ai essayé de vous prouver qu'à mesure que la science fait des progrès, la continuité des phénomènes naturels devient plus apparente, ce serait de la faiblesse que de ne pas vous présenter quelques-uns des raisonnements mis en avant pour chercher si cette continuité s'applique ou non à l'histoire des êtres organiques.

(1) Il n'est pas possible que les animaux tombent du ciel ou sortent des entrailles de la terre... S'ils pouvaient se former de rien, les petits enfants deviendraient en un instant des hommes, et les plantes grandiraient tout de suite à la taille d'un arbre. De tous ces phénomènes, aucun ne se voit assurément; car chaque être vivant s'accroît avec lenteur, comme il est juste, chacun provient d'un germe connu, et, par cette croissance successive, perpétue l'espèce.

Comme nous ne connaissons aucun phénomène tel que la création ou la génération spontanée de végétaux ou d'animaux assez grands pour que nous puissions les étudier à l'œil nu, comme depuis longtemps on a cessé de croire qu'un *Plesiosaurus* pouvait naître spontanément dans nos étangs, ou un ptérodactyle dans nos forêts, cette classe de recherches s'est identifiée avec le microscope, et à chaque phase nouvelle l'investigation a passé à des organismes de plus en plus petits. Le phénomène de la génération spontanée se produisit dans les formes de vie organique les plus petites et apparemment les plus simples? C'est là une question qui dernièrement a donné lieu en France à des expériences soigneuses, et qui a soulevé une discussion animée. S'il était possible de prouver que la matière amorphe peut engendrer, sans qu'il soit besoin de parents, des organismes au caractère complexe, on pourrait raisonnablement penser qu'un mode semblable de création peut s'appliquer à des organes plus grands. Quoique nous n'assistions à aucun phénomène tel que la formation d'un animal comme l'éléphant, ou d'un végétal comme le chêne, si ce n'est par des parents qui leur ressemblent, cependant si le microscope nous révélait que des organismes plus petits, mais aussi complexes, peuvent se former sans l'intervention de parents, il ne serait pas impossible que tel aurait pu aussi être le cas pour les êtres les plus grands. La controverse qui s'est élevée entre M. Pasteur et M. Pouchet a conduit à des recherches minutieuses à ce sujet, et l'opinion générale est que, si l'on prend toutes les précautions possibles pour exclure des substances soumises à l'expérience l'introduction des germes existant dans l'atmosphère, en faisant passer, par exemple, l'air qui doit faire vivre les animalcules à travers des tubes chauffés au rouge, il ne se forme aucun organisme. Quelques expériences faites par M. Child, et qu'il a communiquées à la Société Royale de Londres dans le courant de l'année dernière jettent de nouveau quelques doutes sur les résultats négatifs obtenus par M. Pasteur. Aussi la question n'est-elle pas encore définitivement résolue, mais l'opinion et la somme des expériences sont contre la génération spontanée.

M. Pasteur présente un argument qui est bien digne de remarque, c'est que, à mesure que nos instruments deviennent meilleurs, l'hétérogénie, ou le développement d'organismes, sans qu'ils aient été engendrés par des parents semblables, a dû se retirer graduellement dans les formes les plus simples de la vie ; de telle sorte que s'il y a encore quelques exceptions apparentes, elles ne se trouvent que dans les formes inférieures et les plus simples, et ces exceptions peuvent disparaître, — comme M. Pasteur pense d'ailleurs les avoir fait disparaître, — par une étude plus approfondie.

S'il en est autrement, si l'hétérogénie existe, tout le monde admettra, après le résultat des expériences les plus soigneuses, qu'elle est limitée aux structures organiques les plus simples, telles que les vibrions et les bactéries ; et que l'expérience nous prouve que les êtres plus développés ne se reproduisent que par la génération ordinaire.

La grande difficulté que l'on rencontre tout d'abord au seuil de recherches sur l'origine des espèces c'est la définition de l'espèce ; en un mot, on ne peut définir l'espèce sans soulever toute la question qui fait l'objet de la querelle.

Ainsi, si par espèce on entend une persévérance de types qui ne peuvent se confondre avec d'autres types, ou — ce qui revient presque au même, — qui ne peuvent produire par leur

Digitized by Google

union avec d'autres types des êtres d'un caractère intermédiaire capables d'engendrer à leur tour, on arrive à ce résultat que, chaque fois que le défenseur de l'idée de continuité montre la fusion de ce qu'on considérait jusqu'alors comme des espèces distinctes, on ne manque pas de lui répondre que c'était par erreur qu'on les avait regardés comme des espèces distinctes, et qu'on ne peut plus les appeler espèces puisqu'elles se reproduisent entre elles.

La ligne de démarcation est ainsi *ex hypothesi* reculée d'un pas, et, à moins que le défenseur de la continuité ne puisse de son côté prouver toute la question en montrant que tous les animaux peuvent se reproduire directement ou indirectement par les variétés intermédiaires, il est latin par la définition même des espèces.

D'un autre côté, si cette formule, ou quelque chose de semblable, n'est pas la définition des espèces, si l'on admet que des espèces distinctes, placées dans certaines conditions favorables peuvent produire des êtres intermédiaires capables de se reproduire à leur tour, alors on admet la continuité.

La question se présente donc sous cette forme : Y a-t-il, oui ou non, des espèces. Le mot doit-il s'employer comme signifiant une division réelle et naturelle, ou une simple désignation commode appliquée à des subdivisions ayant une fixité qui, probablement, durera plus longtemps que les discussions de l'homme à ce sujet, mais non pas une fixité absolue? La même question dans un sens plus large et en prenant en considération un plus long espace de temps s'appliquerait aux genres et aux familles.

L'expérience a peu fait pour éclaircir la question, et, à moins que nous ne puissions supposer que l'expérience sera continuée pendant des générations sans nombre, elle contribuera probablement peu à la résoudre. Nous devons donc avoir recours à l'induction tirée des faits de la géologie, de la paléontologie et de la physiologie, en nous aidant ici des lois auxquelles la nature obéit dans toutes les sciences.

La doctrine de la succession graduelle est à peine encore formulée. Quoiqu'il y ait quelques hautes autorités défendant cette opinion, la prépondérance des autorités serait nécessairement de l'autre côté. La géologie et la paléontologie sont des sciences récentes, et nous ne pouvons savoir ce que les anciens auteurs auraient pensé ou écrit si les faits récemment découverts étaient venus à leur connaissance. Les grands écrivains passés ne peuvent donc nous aider dans cette question.

Les découvertes géologiques, au commencement de cette science, semblaient montrer la disparition complète de certaines espèces, et l'apparition de nouvelles, de grandes lacunes existant entre les caractères des espèces disparues et ceux des espèces nouvelles. A mesure que la science fit des progrès, ces lacunes disparurent plus ou moins; la difficulté apparente d'admettre des modifications illimitées d'espèces semble venir de la comparaison des deux extrémités de l'échelle alors que les chaînons intermédiaires manquaient.

Supposer qu'un zoophyte est le père d'un mammifère, ou admettre qu'à quelque époque que ce soit, un animal hautement développé soit sorti de rien, ou ait été soudainement produit par la matière inorganique, paraîtraient, à première vue, des hypothèses également extravagantes. Une de ces alternatives n'est pas plus difficile à admettre que l'autre si l'on suppose l'intervention d'un pouvoir créateur tout-puissant; mais, comme il nous est impossible de savoir quels moyens employait ce pouvoir créateur, si ce n'est par l'étude des créatures elles-mêmes, il n'est pas probable que nous arrivions à établir l'exactitude de l'une ou de l'autre de ces deux hypothèses par la démonstration oculaire. Une seule phase dans le progrès de la transmutation demanderait probablement un espace de temps beaucoup plus considérable que celui qu'embrasse notre histoire; d'un autre côté, on peut dire que des créations soudaines, quoique ayant lieu fréquemment, peuvent être tellement rares, — si l'on met en ligne de compte l'immensité du temps impliqué par les périodes géologiques, — et tellement difficiles à reconnaître, que la non-observation de semblables exemples n'est pas une preuve absolue qu'ils ne se sont pas produits.

Plus les lacunes entre les espèces se remplissent par la découverte des variétés intermédiaires, plus fort devient l'argument de la transmutation et plus faible celui des créations successives, parce que la première hypothèse se rapproche davantage de l'expérience et que la seconde s'en éloigne de plus en plus. Comme le climat, la nourriture et la domestication produisent aussi des variétés plus ou moins permanentes; plus les espèces s'augmentent par intercalation, plus les distinctions descendent vers celles qui se trouvent dans les limites de déviations observées. D'un autre côté, supposer le retour de plus en plus fréquent de nouvelles créations faites avec la matière amorphe est une multiplication de miracles ou d'interventions spéciales qui ne s'accordent en aucune façon avec ce que nous savons des progrès uniformes et gradués de la nature dans le monde organique ou dans le monde inorganique. Si nous avions droit d'en conclure que les découvertes continueront dans la même progression et que les espèces se multiplient indéfiniment, les distinctions deviendraient infiniment petites et toutes lignes de démarcation cesseraient, le polygone deviendrait un cercle, la succession de points une ligne. Il est certain que plus nous observons, plus nous augmentons les subdivisions des espèces, et, conséquemment, le nombre des créations supposées; de telle sorte que les nouvelles créations deviennent innombrables; cependant nous ne trouvons aucun exemple authentique de ces créations, et nous ne remarquons dans aucune autre opération de la nature ce manque de continuité, ces déviations fréquentes *per saltum* de l'uniformité, déviations dont chacune constitue un miracle.

La difficulté de produire des êtres intermédiaires entre ce qu'on appelle les espèces distinctes, l'infécondité dans bien des cas des hybrides, sont les arguments qu'on produit ordinairement contre la continuité de successions. D'un autre côté, on peut dire que des variations, longtemps continuées à travers des générations sans nombre, ont donné lieu à de telles différences de caractères physiques, que la reproduction est difficile dans quelques cas et impossible dans d'autres.

Supposons, par exemple, que M représente une race dont les enfants, par des changements successifs continués à travers un temps incalculable, se sont divisés en deux branches et ont produit d'un côté une espèce A et de l'autre une espèce Z, les changements ont été ici tellement considérables que nous ne pourrions jamais nous attendre directement à reproduire un intermédiaire entre A et Z. A et B d'un côté et Y et Z de l'autre pourraient reproduire; mais pour atteindre de nouveau le type original M, il faudrait non-seulement rétrograder à travers tous les intermédiaires, mais il faudrait que chaque phase de la rétrogression fût accompagnée des mêmes circonstances, se présentant dans un ordre inverse: conditions

Digitized by Google

qu'il est évidemment impossible de remplir. Mais, quoique dans les formes les plus élevées de la structure organique, nous ne puissions retracer les effets du temps et reproduire les types intermédiaires, cependant, dans les formes inférieures, il est souvent difficile d'assigner aucune ligne de démarcation spécifique. Ainsi le docteur Carpenter indique comme un des résultats de ses recherches minutieuses sur les foraminifères que : « On a prouvé qu'il existe de nombreuses différences chez les orbitolites, non-seulement par rapport à la forme extérieure, mais aussi quant au plan de développement; et non pas seulement aussi quant à la forme et à l'aspect de l'organisme entier, mais aussi par rapport à la grandeur et à la configuration de ses parties constituantes. Il eût été facile, en ne choisissant que les types les plus divergents dans la série entière des spécimens que j'ai examinés, d'établir pour eux le droit de les classer comme autant d'espèces distinctes. Mais, après avoir classé tous les spécimens qui pouvaient être rangés autour de ces types, il en serait encore resté un grand nombre, présentant des caractères intermédiaires entre ceux de deux ou plusieurs de ces types, combinant ces caractères dans les différentes parties de leur structure, et prouvant ainsi qu'aucune ligne de démarcation ne peut être établie entre les diverses parties de la série pour séparer définitivement cette série en un nombre de groupes, caractérisés chacun par des traits qui lui sont entièrement particuliers. »

Comme conclusion de ses recherches, il ajoute :

« 1° L'étendue des variations est si considérable dans les foraminifères qu'elle comprend non-seulement les caractères différentiels que les hommes à systèmes, se basant sur les méthodes ordinaires, regardent comme spécifiques, mais aussi ceux sur lesquels la plus grande partie des *genera* de ce groupe ont été fondées, et même, dans quelques cas, ceux de ses ordres;

» 2° L'idée qu'on se fait ordinairement de l'espèce, en la considérant comme assemblage d'individus se distinguant d'un autre assemblage ou d'une autre espèce par des caractères définis qui, au moyen de la génération, leur ont été transmis par des prototypes originaux possédant ces mêmes caractères, cette idée n'est pas applicable à ce groupe; car, si l'on étendait même les limites de tels assemblages de façon à comprendre ce qui, autre part, constituerait des genres, ces genres seraient encore si intimement liés par des chaînons gradués qu'il serait impossible de tirer entre eux des lignes de démarcation définies;

» 3° La seule classification naturelle du vaste ensemble de formes diverses que contient ce groupe sera de les ranger selon leur direction et le degré de leur divergence d'un petit nombre de familles types principales; et tout groupement de genres et d'espèces qui peut être adopté pour aider à la description et à la nomenclature doit être regardé seulement comme un assemblage de formes caractérisées par la nature et le degré de modifications du type original, modifications qu'ils ont subies dans le cours d'une descente générique de parents communs;

» 4° Par rapport même à ces types de famille, on a tout lieu de se demander si des preuves analogues ne favorisent pas l'idée qu'ils dérivent d'un auteur commun plutôt que de familles distinctes. »

On pourrait presque dire que M. H. Bates, quand il décrit les lépidoptères de la vallée de l'Amazone, a été témoin de la naissance de quelques espèces de papillons, tellement sont précises ses observations sur les habitudes de ces animaux, — habitudes qui ont servi de base à des variétés ou des séparations, — tellement les résultats suivent parfaitement ses observations, tellement grande enfin l'impossibilité d'expliquer autrement les faits observés.

Dans les nombreuses localités de la région de l'Amazone, certaines espèces de Papillons vivant en troupes (*Heliconides*), se rassemblent en nombre si incroyable qu'il dépasse presque celui de tous les autres Papillons du voisinage. Les espèces varient avec les localités bien qu'on ne les puisse souvent distinguer les unes des autres que par une légère nuance différentielle.

On trouve dans ces troupes, en petit nombre, d'autres espèces de papillons appartenant au moins à dix genres différents; on y trouve même des phalènes. Ces intrus, bien que leur structure diffère *in toto* des papillons auxquels ils se joignent, bien qu'ils diffèrent les uns des autres, copient si parfaitement les *Heliconideæ* dans leurs couleurs, leurs habitudes, leur manière de voler, etc., qu'il est presque impossible de les distinguer au milieu des autres. Leur but est de se mettre en sûreté, car ils espèrent échapper ainsi aux animaux voraces.

M. Bates a observé jusqu'au mode de vie, à la nourriture, aux variétés, à la situation géographique de ces espèces qui singent les *Heliconideæ*, et il a trouvé que les différentes espèces se modifient, selon les endroits, pour ressembler à l'*Heliconidea* qui y est stationné.

M. Wallace a rendu un service semblable à la théorie dérivative par ses observations et ses écrits sur les Papillons et les Oiseaux de l'Archipel malais. Il relate plusieurs exemples de ressemblances mimiques strictement analogues à celles que nous venons de citer; il ajoute, en outre, une magnifique série de cas où la forme de l'aile du même papillon se modifie si considérablement dans différentes îles qu'il se produit un changement dans leur manière de voler, changement qui tend à la conservation de l'espèce en l'aidant à échapper à la poursuite des oiseaux et des insectes.

M. B. D. Walsh, de l'Amérique du Nord, a admirablement démontré les effets de la nourriture quant à la formation et à la séparation de races et de certains groupes d'insectes.

M. M'Donnel a été conduit à la découverte d'un nouvel organe dans les poissons électriques par l'application de la théorie dérivative; et le docteur Fritz Müller a publié ses nombreuses observations prouvant que des organes d'une structure très-différente peuvent, par l'opération de la sélection naturelle, acquérir des fonctions très-semblables et même identiques. L'hyménoptère plongeur de sir J. Lubbock nous fournit un exemple remarquable d'un phénomène analogue; il plonge à l'aide de ses ailes, et c'est le seul insecte de l'ordre considérable auquel il appartient qui ait des habitudes aquatiques.

La découverte de l'Eozoon est de la plus haute importance pour l'hypothèse dérivative, car il se trouve dans des couches formées à une époque inconcevablement antérieure à celle qu'on regardait comme ayant assisté à l'introduction de la vie sur le globe; en outre, cette découverte détruit l'argument tiré de la supposition qu'au commencement de la vie sur la terre, une multitude d'êtres ayant une organisation compliquée se développèrent simultanément (dans les couches siluriennes et cambriennes).

Le professeur A. de Candolle, un des botanistes les plus distingués du continent, a, jusqu'à un certain point, abandonné

Digitized by Google

les idées qu'il exprime dans sa « *Géographie botanique* », et favorise l'hypothèse dérivative, dans son mémoire sur les variations des chênes, en adoptant les conclusions d'un mémoire du docteur Hooker sur les chênes de la Palestine, où ce dernier prouve que seize d'entre eux sont dérivatifs. M. de Candolle avoue qu'il croit que sur les trois cents espèces de ce genre, qu'il décrit lui-même, les deux tiers sont seulement provisoires.

Le docteur Hooker, — qui avait seulement accepté en partie l'hypothèse dérivative, telle qu'on la comprenait avant la publication de l'« *Origine des espèces* » de Darwin, mais qui repoussait en même temps la doctrine de la création spéciale, — a depuis cordialement adopté la première hypothèse, et prouve les principes en les appliquant à la solution de diverses questions botaniques : d'abord, en expliquant d'une manière satisfaisante les anomalies de la flore australienne ; ensuite en appliquant ces mêmes principes à la flore arctique.

Quant à la flore arctique, il croit que les types originaux scandinaves étaient répandus dans toutes les hautes latitudes septentrionales ; que ces végétaux ont été poussés vers le sud pendant la période glacière, et qu'alors beaucoup ont changé de formes dans la lutte qu'ils ont eu à soutenir contre les plantes tempérées qu'ils voulaient remplacer ; qu'à l'époque où la chaleur revint, les plantes scandinaves, changées ou non, furent à leur tour repoussées vers le nord et sur les montagnes des latitudes tempérées, suivies dans les deux cas par les plantes préexistantes des Alpes tempérées. Le résultat est la flore arctique mélangée actuelle, consistant en une base de plantes scandinaves plus ou moins changées, associées dans chaque longitude aux représentants de la flore des montagnes des régions plus tempérées du sud.

La doctrine de Cuvier, consacrée chaque jour davantage par l'observation, que chaque organe a un rapport défini avec tout l'individu, semble défendre l'hypothèse de la variation infinie. Si un animal, pour chercher sa nourriture ou pour se mettre en sûreté, grimpe aux arbres, ses griffes saisiront mieux, les muscles qui agiront sur ces griffes se développeront, le corps deviendra agile par l'exercice même qui lui est nécessaire, et chaque partie de l'individu se moulera aux besoins de l'animal par l'effet, sur le corps, des besoins de l'animal.

Les restes de la vie sur le globe ont pu être détruits par la fusion des rochers, qui, autrement, les aurait conservés, ou par la cristallisation après l'action hydrothermale. Les premières formes ont pu exister à une époque où cette planète était encore à l'état de formation ou venait de se détacher d'un autre monde ou d'un autre système. Nous n'avons pas assez de preuves pour discuter ce sujet, mais nous pouvons à force de temps et de patience arriver à trouver ces preuves.

Si toutes les formes d'organismes qui ont existé sur le globe étaient conservées, la question qui nous occupe serait facile à résoudre ; mais la proportion d'êtres ainsi conservés à l'état fossile doit être nécessairement fort petite, si nous considérons combien de circonstances propices sont nécessaires pour que cette conservation puisse se faire.

Les récentes découvertes de la paléontologie ont prouvé que l'homme existait sur cette planète à une époque de beaucoup antérieure à la date ordinairement fixée pour son apparition. Les instruments qui accompagnent les restes humains, instrument sans contredit l'ouvrage de l'homme, prouvent qu'on ne peut appliquer à ces périodes éloignées le mot de civilisation ; ce sont d'abord des éclats de silex grossièrement taillés ; puis, quand le temps a amené quelques améliorations, ces instruments reçoivent une forme meilleure, une autre pierre sert d'outil ; puis, — nous ne pourrions dire après quel laps de temps, — ces armes sont polies ; enfin nous trouvons des armes de bronze, et, plus tard, au commencement de la période historique, des armes de fer. Une invention aussi simple que la roue est, très-probablement, de beaucoup postérieure aux armes grossières auxquelles je viens de faire allusion.

Un peu de raisonnement convaincra tous ceux qui n'ont pas de préjugés que ce que nous appelons la civilisation doit avoir été un progrès graduel. Peut-on supposer que les habitants de l'Amérique centrale ou de l'Égypte bâtirent leurs villes, sculptèrent et décorèrent leurs monuments, on pourrait dire instinctivement ? S'il leur a fallu apprendre à construire de tels édifices, n'a-t-il pas fallu du temps pour acquérir cette science, pour inventer des outils quand ils étaient nécessaires, des machines pour élever les matériaux, des règlements ou des lois pour faire agir de concert tous ceux qui étaient chargés d'une semblable construction ? N'a-t-il pas fallu du temps pour tout cela ? Et si, comme les témoignages des temps historiques le prouvent, l'invention marche en progression géométrique, combien les premiers pas ont dû être lents ! Si, même aujourd'hui, les habitudes, les préjugés qui en résultent, les intérêts, etc., retardent encore pendant un certain temps l'application d'une invention nouvelle, quels n'ont pas dû être les délais chez les êtres comparativement ignorants qui vivaient alors ?

La doctrine de la continuité ne s'applique pas seulement aux recherches physiques.

La même manière de penser qui nous conduit à voir la continuité dans le champ du microscope comme dans l'univers, dans l'infiniment grand comme dans l'infiniment petit, nous conduira à la voir dans l'histoire de notre race. Les idées révolutionnaires des soi-disant droits naturels de l'homme, les raisonnements à priori sur ce qu'on appelle les premiers principes, nous donnent bien moins de cause d'espérer l'amélioration de notre race que l'étude des changements graduels et progressifs provenant d'un changement de milieu, de nouveaux besoins, de nouvelles habitudes. Notre langage, nos institutions sociales, nos lois, la constitution dont nous sommes fiers, sont le produit de lentes adaptations résultant de luttes continuelles. Heureusement que dans ce pays, quoique nos écrivains philosophiques ne le reconnaissent pas toujours, l'expérience pratique nous a enseigné qu'il valait mieux améliorer que renouveler ; nous suivons la loi de la nature : nous évitons les cataclysmes.

La supériorité de l'homme sur les autres animaux habitant cette planète, celle de l'homme plus civilisé sur celui qui l'est moins, est proportionnelle à la facilité avec laquelle sa pensée peut s'emparer, pour ainsi dire, du passé et de l'avenir. Sa mémoire s'étend plus loin en arrière, son pouvoir de prédire plus loin en avant, à mesure que ses connaissances augmentent. Il ne possède pas seulement la mémoire personnelle qui lui permet de se retracer, quand il le veut, les événements de la vie individuelle, il a l'histoire, mémoire de la race ; il a la géologie, histoire de notre planète ; il a l'astronomie, géologie des autres mondes. D'où vient la conviction à laquelle j'ai fait allusion, que chaque forme matérielle porte en elle-même les traces de son histoire passée ? N'est-ce pas de la croyance à la continuité ? L'usure du rocher ne nous raconte-t-elle pas l'action de la marée, les couches stratifiées du rocher, les lents dépôts qui ont présidé à sa formation ; les

Digitized by Google

restes organiques qui y sont emprisonnés, les êtres vivants qui vivaient à cette époque ; de telle sorte qu'au moyen d'un morceau de pierre nous pouvons nous retracer l'histoire d'une période écoulée depuis des myriades d'années ? Un morceau de bronze nous raconte l'histoire de notre race dans des temps antérieurs à la tradition. A mesure que la science s'avance nous apprenons à mieux lire cette histoire. L'anneau de Saturne nous aidera peut-être à savoir comment notre système solaire s'est développé, car il contient aussi certainement cette histoire que le rocher contient celle de sa propre formation.

Par cette patiente investigation, combien n'avons-nous pas déjà appris de choses qu'ignoraient les races les plus civilisées de l'antiquité ? Tandis qu'en morale, en politique, en poésie, en sculpture, en peinture, nous avons à peine dépassé, si même nous avons égalé, les plus hautes intelligences de l'ancienne Grèce et de l'ancienne Italie, quels progrès n'avons-nous pas faits dans les sciences physiques et dans leurs applications ?

Mais que de choses encore nous pouvons espérer apprendre ?

Nous, qui sommes assemblés ici le soir, éphémères que nous sommes, nous avons appris à peser, pour ainsi dire dans une balance, des mondes plus grands et plus pesants que le nôtre, à calculer la longueur de leurs jours et de leurs années, à mesurer la distance énorme qui les sépare de nous et qui les sépare les uns des autres, à découvrir et à déterminer l'influence qu'ils exercent les uns sur les autres, à connaître même les substances dont ils sont composés ! N'avons-nous pas tout lieu d'espérer que des méthodes de recherches semblables à celles qui nous ont déjà tant appris, procureront à notre race de nouvelles connaissances, jusqu'à ce que tous les problèmes concernant non-seulement les autres mondes, mais aussi peut-être les êtres organisés qui les habitent, problèmes qu'il semble insensé d'énoncer aujourd'hui, soient résolus par les progrès que nous ferons dans nos méthodes pour appliquer l'observation et l'expérience, l'induction et la déduction ?

GROVE F. R. S.

(Traduit de l'anglais par E. BARBIER.)

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS.

DOCTORAT.

M. CLOEZ.

Recherches sur les éthers cyaniques et leurs isomères.

L'étude du cyanogène a introduit dans la chimie l'idée des radicaux composés, c'est-à-dire de corps composés jouissant de propriétés analogues à celles des corps simples. L'étude de tous les dérivés du cyanogène présente donc un grand intérêt. Un grand nombre de chimistes s'y sont appliqués, et M. Cloëz vient d'écrire un nouveau chapitre de leur histoire.

On sait que M. Wurtz, en soumettant à la distillation sèche un mélange de cyanate de potasse et d'un sel vinique à base d'alcali, a obtenu des composés qu'il a appelés éthers cyaniques et cyanuriques. Ces corps ne possèdent pas les propriétés ordinaires des éthers composés avec lesquels ils n'ont de commun que leur mode de préparation. Les véritables éthers cyaniques et cyanuriques étaient encore à trouver. M. Cloëz a comblé cette lacune.

En faisant agir le chlorure de cyanogène liquide Cy Cl, sur les méthylate, éthylate et amylate de soude, il a obtenu une série de produits isomériques avec les éthers cyaniques et cyanuriques de M. Wurtz, et qu'il a appelés éthers isocyaniques. Ces éthers présentent les réactions caractéristiques des éthers composés ordinaires, avec les alcalis hydratés et les acides minéraux étendus.

Expérimentateur habile et consciencieux, M. Cloëz, a tout d'abord étudié le corps qui sert de point de départ à ses expériences, le chlorure de cyanogène. Cette étude préliminaire l'a conduit à signaler une erreur qui s'était glissée dans l'histoire du chlorure de cyanogène : le chlorure de cyanogène gazeux de Sérullas et le chlorure de cyanogène liquide de M. Wurtz, ont un seul et même corps.

M. Cloëz termine son travail par des observations sur la constitution chimique des éthers cyaniques et de leurs isomères. Il considère les éthers composés comme résultant de l'union d'un acide avec l'oxyde d'un radical alcoolique. Pour justifier cette hypothèse, M. Cloëz se déclare partisan de la théorie dualistique et, sans refuser certains avantages à l'hypothèse des types de Gerhardt, il est persuadé que l'hypothèse dualistiques rend en général mieux compte des phénomènes.

Nous ne voulons, pas plus que M. Cloëz, entreprendre une discussion approfondie des avantages réciproques de ces deux théories, mais nous croyons qu'il est de notre devoir de protester hautement contre l'accusation d'infidélité à la méthode expérimentale, qu'il a formulée plus ou moins clairement contre l'hypothèse unitaire. M. Cloëz a parfaitement raison quand il dit que les interprétations théoriques doivent être subordonnées à l'observation et à l'expérience. Mais la science ne doit pas se borner non plus à enregistrer les faits ; il ne suffit pas de tracer des catalogues bien complets dans lesquels on puisse retrouver toutes les propriétés des corps, leurs actions réciproques, etc. Le nombre de faits enregistrés est déjà si considérable que nous devons voir avec plaisir toutes les tentatives faites pour les grouper sous des lois générales. Sous ce rapport la théorie des types est un pas immense fait vers la constitution définitive de la chimie. Nous ne voulons pas exagérer l'importance de cette théorie, qu'on a peut-être à tort baptisée du nom de chimie moderne, en assimilant les progrès qu'elle a fait faire à la chimie, aux progrès que les théories de la lumière et de la chaleur ont introduits dans la physique. Non, la chimie n'est pas encore complétement constituée ; il est permis d'espérer que nous saurons un jour formuler les réactions chimiques en mettant en équation les forces moléculaires, et le plus grand mérite de la théorie des types est peut-être d'avoir porté les chimistes à étudier de plus près les atomes, ces géants travestis, comme les appelle M. Tyndall. La théorie atomique repose sur les notions de de densité de vapeur et de chaleur spécifique ; or ces notions prennent un sens de mieux en mieux défini à mesure que se développent toutes les conséquences de la théorie mécanique de la chaleur. Les phénomènes calorifiques et électriques qui accompagnent les réactions chimiques nous permettent de nous faire dès maintenant une idée des forces qui sont en jeu dans ces réactions ; une étude plus approfondie de ces phénomènes nous mettra peut-être à même d'arriver, par cette voie, à établir ce qu'on peut appeler la mécanique rationnelle des atomes. Alors seulement la chimie sera véritablement constituée.

E. FELTZ.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE | NUMÉRO 43 | 22 SEPTEMBRE 1866

CONFÉRENCES PUBLIQUES DE BERLIN.

M. R. VIRCHOW,
Membre de la Chambre des députés de Prusse.

Atome et individu (1).

Permettez-moi, honorables auditeurs, de faire précéder le sujet pour lequel je réclamerai tout à l'heure votre indulgente attention, de quelques observations qui, sans en faire partie essentielle, n'y sont peut-être pas tout à fait étrangères.

Les langues ont leurs particularités, comme l'esprit humain, dont elles sont l'expression la plus élevée et la plus complète. Elles se développent avec la culture de l'esprit; plus la connaissance devient claire, plus les expressions deviennent rigoureuses, plus le sens de la parole devient net. La langue croît avec le peuple; elle atteint son développement maximum à l'époque même où la vie du peuple devient la plus riche et la plus puissante. Mais autre chose est la formation et l'origine, autre chose le développement et la croissance de la langue. C'est là une nouvelle analogie entre la langue et l'esprit. Chacun de nous peut développer de la manière la plus merveilleuse les dispositions de son esprit, mais il nous est impossible de nous créer de nouvelles aptitudes. De même, les aptitudes de la langue ont leur origine dans les époques les plus reculées de l'histoire du peuple, et souvent la sagacité la plus étonnante du savant suffit à peine pour nous reporter à l'origine des langues.

Chaque peuple, en se séparant de ses frères, puise dans le trésor commun sa part de ces mots racines, de ces radicaux. Ce sont là ses aptitudes, et tout le développement ultérieur de la langue n'est qu'une série de dérivations et de juxtapositions, de modifications et de transformations, d'adoptions et d'embellissements, de ce qui lui a été donné une fois pour toutes. Le peuple change par ses membres; une génération remplace l'autre; les descendants oublient ceux dont ils ont recueilli l'héritage; mais l'esprit du peuple se propage sans changements dans les limites plus ou moins étroites de la langue, aussi longtemps que le peuple reste fidèle à lui-même. La langue est le joyau le plus précieux du peuple, honte à ceux qui veulent le lui amoindrir!

De nos jours, nous sommes beaucoup à penser ainsi en Allemagne, et pleins d'espoir, nous pouvons dire que nous devenons de jour en jour plus nombreux. Ne croyez donc pas que je renie l'esprit allemand en vous faisant aujourd'hui une conférence qui a pour titre deux mots étrangers. Permettez-moi plutôt de saisir cette précieuse circonstance, pour justifier la science du reproche qu'on lui fait si souvent d'avoir une trop grande tendance à emprunter des mots étrangers.

Je ne chercherai pas à la justifier en disant que la science est la propriété de toute l'humanité et non celle d'un seul peuple. On pouvait faire valoir ce prétexte tant que la science se servait généralement de la même langue. Mais le latin scientifique meurt comme a passé le peuple qui l'a parlé; le genre maniéré des savants, qui çà et là fait encore subsister la vieille langue, se brise à chaque nouvel élan de la vie du peuple. Partout la science se revêt des formes nationales; les vêtements étrangers embarrassent sa marche; la langue maternelle seule rend le savant capable de donner un libre cours au fleuve rapide de ses pensées. Elle seule permet à ses connaissances de se répandre avec fruit dans les canaux des connaissances du peuple; sa science prend alors un cachet national, et le savant qui ne trouvait autrefois qu'à la cour du prince un but digne de son ambition, se trouve maintenant au milieu d'un peuple civilisé qui non-seulement lui accorde des honneurs, mais lui prête aussi aide et assistance.

Mais ni prince ni peuple ne peuvent donner plus qu'ils n'ont. Et ils n'ont pas les nouvelles racines, les nouveaux radicaux dont le savant a besoin pour de nouvelles découvertes, pour de nouvelles délimitations dans le domaine de l'esprit ou de la matière; ils ne peuvent lui donner des noms pour des choses que personne n'a vues, auxquelles personne n'a songé avant lui. Les dialectes provinciaux seuls conservent souvent avec une rare fidélité les expressions les plus rigoureuses et les plus justes, pour dépeindre certaines particularités de la vie; mais ces particularités, il faut les faire passer dans la vie ou dans la pensée. Reste un autre point essentiel. La langue n'est pas simplement un acte de l'esprit, elle est en même temps un lien pour lui. Dans le principe, elle provoque l'émancipation de l'esprit, mais plus tard elle forme un filet étroit dans les mailles duquel la pensée s'embrouille. Les mathématiques seules ont réussi à s'en débarrasser; toutes les autres sciences y sont emprisonnées. Que reste-t-il à faire au chercheur? Lorsque toutes les modifications, toutes les juxtapositions deviennent inutiles, lorsque l'idée nouvelle ne peut pas s'exprimer dans la langue telle qu'elle existe, il ne reste plus qu'à emprunter le mot à une autre langue. Je n'ai pas besoin de vous expliquer pourquoi la science s'adresse de préférence aux langues dans lesquelles ont été élevés ses premiers monuments classiques, qui possèdent le

(1) Voyez d'autres leçons de M. R. Virchow dans les nos 6, 9, 19, 36 et 37 de la *Revue des cours scientifiques*, 3e année, 1866, p. 90, 156, 305, 592 et 606.

Digitized by Google

plus riche trésor de racines et qui ne sont plus parlées elles-mêmes. C'est là que la science peut choisir le plus librement, car il ne dépend que d'elle d'attacher au mot telle ou telle signification accessoire, de lui façonner pour ainsi dire à volonté un sens quelconque. Elle y trouve en même temps l'avantage inappréciable de choisir des mots qui peuvent servir dans une égale mesure à tous les peuples civilisés.

Plus d'une expression latine ou grecque a été ainsi introduite par la science dans la langue des peuples modernes, pour y acquérir ensuite droit de cité. C'est ainsi que nous parlons tous les jours d'atomes et d'individus, car notre langue n'a pas de mot exprimant aussi brièvement la même idée.

Mais nous tombons ici sur une de ces particularités auxquelles j'ai fait allusion plus haut. Les deux mots atome et individu signifient par eux-mêmes exactement la même chose, et cependant ils expriment des idées bien différentes. Le mot grec *atome*, traduit littéralement, indique une chose qui ne peut plus être coupée, que ni la main ni l'esprit ne peuvent diviser « anatomiquement ». Le mot latin *individu*, pris à la lettre, signifie ce qui ne peut plus être divisé. Il y a plus, le mot latin *individu* ne peut se traduire en grec que par le mot *atome*, et en réalité, Aristote emploie ce mot dans le sens d'individu. Tous deux signifient ce qui est indivisible, ce qui est un, l'unité. Mais que d'idées accessoires sont attachées à cette unité!

Depuis les temps les plus reculés de la philosophie grecque, le mot atome, pris dans son acception la plus restreinte, signifie la plus petite partie matérielle de l'unité à laquelle on *arriverait* si l'on continuait à diviser les parties d'un corps en portions de plus en plus petites, *unité* qu'on ne peut jamais atteindre en réalité, parce que ces dernières *unités* échappent à tous nos moyens de perception par les sens. Mais ces atomes ne sont pas les dernières parties des corps en général, ce sont les dernières parties des *éléments* dont les corps sont formés. Lorsque la science moderne eut mis à la place des quatre éléments des anciens le nombre considérable, trop considérable peut-être, des éléments chimiques et physiques, le mot atome changea naturellement de signification. Il n'y a plus maintenant des atomes du feu ou de l'eau, il n'y a plus que des atomes d'éther, d'hydrogène, d'oxygène, etc., car ce sont là les seules substances dont nous pouvons reconnaître le caractère élémentaire. L'unité en elle-même est la *monade;* mais que ne faut-il pas ajouter à cette idée de monade, pour déterminer les monades particulières que nous appelons atomes? La science moderne, si pauvre en mots, n'a pas oublié les monades; mais elle a fait pour ces monades ce qu'elle avait déjà fait pour les atomes, elle les a dotées de propriétés et de particularités tout à fait nouvelles, et les *monades philosophiques* de Leibnitz diffèrent infiniment des *monades corporelles* d'Ehrenberg. Les monades des philosophes occupent l'extrême gauche, ou, comme il faut peut-être dire maintenant, l'extrême droite, par rapport à l'atome idéal des physiciens et des chimistes; les monades des naturalistes se rapprochent au contraire de l'individu.

Qu'est-ce donc que l'individu? S'il s'agissait simplement de dire ce qu'on appelle un individu, ce serait chose facile. Mais il y a tant de choses qui s'appellent individus, dans le bon comme dans le mauvais sens du mot. Tout le monde parle d'individu, d'individuel, d'individualité. L'un parle d'un homme, l'autre d'une plante; celui-ci pense à l'esprit, l'autre à l'être corporel; certaines personnes se figurent l'individu petit, d'autres grand; on a même posé sérieusement la question de savoir si les atomes ne sont pas aussi des individus. Cette confusion n'existe pas seulement entre gens du monde et savants, entre artistes et critiques, mais même entre naturalistes, et elle s'explique simplement par ce fait, que ce mot n'est pas employé seulement dans son sens propre, mais avec une foule de significations accessoires. Et, quoique nous nous placions ici au point de vue de la science naturelle, nous sommes obligés, en présence des différents sens sous lesquels cette science emploie le mot individu, de bien nous recueillir avant de chercher à assigner une signification déterminée à ce mot. On ne nous blâmera pas si, conformément à l'usage général, nous nous attachons à des objets réels.

Évidemment, les individus ne sont pas les dernières parties, les parties indivisibles qui échappent à l'observation de nos sens. Au contraire, ce mot éveille en nous l'idée de corps ou d'êtres visibles et mesurables, souvent de volume si considérable, souvent aussi de construction si complexe, que nous distinguons de nouveau en eux-mêmes des systèmes, des organes, des éléments dont les derniers peuvent de nouveau être décomposés, et dont les plus petites parties encore visibles nous apparaissent comme composées d'atomes innombrables. Bref, les individus ne sont pas des unités de parties, mais des unités douées de parties. D'où leur vient donc ce privilége de prétendre à l'indivisibilité? Pour quelle cause leur attribuons-nous l'individualité?

Chercher la définition du mot individu dans l'indivisibilité qui explique sa nature est certes une chose très-singulière et qui dénote une grande finesse de langage. L'atome est l'unité indivisible qu'on ne *peut* même pas diviser par la pensée; l'individu est l'unité qu'il n'est pas *permis* de diviser. Diviser l'individu c'est le détruire. Il n'est plus alors une unité dans le sens de l'individualité, quoiqu'il renferme encore des quantités innombrables d'unités dans le sens de la chimie atomistique. Les parties et même les atomes de l'individu font un seul tout; ce n'est que par cette dépendance réciproque des parties, par leur union, par leurs relations communes qu'elles éveillent l'idée complète de l'individualité; c'est sous cette forme seulement qu'elles atteignent le but que nous sommes habitués à chercher dans le phénomène total.

Il suit de là que *l'individu est une communauté une*, dans laquelle toutes les parties travaillent en vue d'un but commun, ou, comme on peut dire encore, travaillent, d'après un plan déterminé. Comme nous l'avons déjà dit, les parties elles-mêmes peuvent être de nature très-diverse, et avoir une importance bien variable. L'idée même de l'individu est tellement complexe, que nous pouvons retrancher certaines parties de l'individu sans que pour cela il perde le caractère de l'individualité. Certaines parties importantes et capitales seules ne peuvent pas manquer. Un homme sans bras ni jambes reste un individu pour nous, mais s'il perd la tête, la poitrine ou l'estomac, nous disons : il fut.

L'atome est invariable et fixe; l'individu est variable et passager. L'atome peut se combiner et se grouper de mille manières avec d'autres atomes, mais il peut toujours sortir de ces combinaisons avec toutes ses propriétés. L'individu, dans l'intérêt de sa propre conservation, doit rester isolé; s'il voulait entrer complétement en combinaison avec d'autres individus, il y perdrait son individualité. Dans ses rapports les plus intimes, il conserve toujours quelque chose d'extérieur; il peut bien absorber mais non se laisser absorber. Il

Digitized by Google

y a quelque chose en lui qui le distingue de tout ce qui n'est pas de même nature que lui, en même temps que des individus de même nature, ce qui ne permet qu'un rapprochement extérieur, quelque intime qu'il soit d'ailleurs. *Tout individu, qu'il appartienne ou non à un groupe ou à une série plus ou moins considérable, a sa particularité.*

En quoi consiste donc cette particularité? Quel est ce « mystère de l'individualité »? Avant d'aborder cette question épineuse, et pour nous la rendre plus facile, demandons-nous jusqu'à quel point il est permis d'étendre l'idée de l'individu dans le domaine de la nature. Devons-nous remplir la nature entière d'individualités? Le soleil et les planètes, l'air et la mer, les pierres et les cristaux peuvent-ils prétendre à l'individualité? Plus d'un philosophe des temps modernes, plus d'un naturaliste répond : oui. L'antiquité était unanime dans cette manière de voir, aussi remplissait-elle la nature entière de ses dieux.

« Là où nos savants nous montrent un globe de feu inanimé » faisant ses évolutions, Phœbus dirigeait autrefois son char » d'or avec une silencieuse majesté! Des Oréades remplis- » saient ces hauteurs, une Dryade vivait dans chaque arbre, » de l'urne des aimables Naïades jaillissait l'écume argentée » des fleuves.

» Hélas! de cette image toute chaude de vie, il ne nous » reste que l'ombre. — Pareille aux oscillations inanimées du » pendule, la nature, qui a cessé d'être dieu, obéit servile- » ment à la loi de la pesanteur. »

Quel charme, quelle importance trouvons-nous donc encore à discuter la question de savoir si le soleil ou l'air sont des êtres individuels? Ils sont là, et nous nous réjouissons de leur présence, mais ne pourraient-ils pas être un peu différents sans que leur existence propre en soit changée sensiblement? Le soleil ne resterait-il pas soleil, même s'il avait beaucoup plus de taches, s'il avait une circonférence beaucoup plus grande? L'air cesserait-il d'être de l'air s'il était rempli d'acide carbonique et d'azote? Certainement nous nous en ressentirions très-bien, peut-être le genre humain ne pourrait-il pas y vivre, mais nous n'aurions aucune raison d'accuser l'individu soleil ou l'individu air d'avoir cessé d'être soleil ou air. Une bulle de savon (1) n'a-t-elle donc pas autant de droit à l'individualité qu'un corps céleste? N'obéit-elle pas avec la même soumission à la loi de la pesanteur? Tout son être n'est-il pas lié, lui aussi, à la nécessité générale de l'attraction.

L'individuel est l'opposé du général; il échappe à la nécessité de la loi générale pour trouver une loi en lui-même; il tend vers la *liberté*, vers la *spontanéité*. Où donc trouve-t-on de la liberté, sinon dans le règne organique? En vain s'efforce-t-on de sauver au moins l'individualité du cristal. Certainement ce ne sont pas des forces extérieures qui déterminent ses parties à se grouper suivant une si belle forme; des influences extérieures peuvent déterminer la force intérieure qui réside dans les parties elles-mêmes; elles peuvent en arrêter l'activité, la favoriser ou la modifier. Ainsi chaque cristal peut avoir quelque chose de particulier, quelque chose d'original; mais cette particularité n'est pas son être, elle ne nous manifeste pas sa nature intérieure, elle n'est qu'un signe de la force extérieure sous l'action de laquelle cette nature intime a apparu, elle peut même détourner notre attention de l'observation de la nature propre et réelle du cristal. Mais là même où les marques de la pression extérieure sont les moins apparentes, là où la force intérieure a développé la forme la plus complète, cette forme est-elle une condition essentielle de l'existence de l'être? Le diamant ne reste-t-il pas diamant lorsque nous l'ornons de mille facettes artificielles sous lesquelles sa forme cristalline disparaît de plus en plus? Chacune de ses parties n'est-elle pas un diamant, quel que soit le nombre des parties ainsi détachées du cristal simple? Le diamant n'est-il pas, comme la chimie nous l'enseigne, une forme particulièrement pure, sous laquelle le carbone se présente dans les couches géologiques?

L'individu est vivant. Le cristal le plus magnifique n'est qu'un échantillon, tout échantillon de luxe qu'il est. Sans nul doute il y a aussi des échantillons de luxe, des spécimens parmi les plantes, parmi les animaux, parmi les hommes mêmes; mais ils ne le sont qu'accessoirement par rapport à d'autres. Tout d'abord et avant tout ils ont une existence personnelle, ils renferment en eux le germe de tout leur développement, quoiqu'ils n'y arrivent pas toujours par eux-mêmes.

Cette particularité intérieure constitue leur nature, et la forme extérieure qui en résulte directement, nous révèle fidèlement cette nature intime, si nous sommes capables de la comprendre et de l'interpréter. L'individu à l'apogée de son développement porte en lui l'empreinte de l'unité. Quelque nombreuses, quelque variées que soient les parties, elles forment toutes une véritable communauté, dans laquelle chaque partie est en rapport avec toutes les autres, et a besoin des autres, dans laquelle enfin aucune ne peut acquérir toute son importance en dehors de la communauté. Comme le disait Aristote, tout ce qui vit agit dans un but, et ce but, ainsi que Kant l'a exprimé plus nettement, est un but intérieur; ce qui vit se sert de but à soi-même. Le cristal peut s'accroître à l'infini, s'il trouve les conditions et les substances nécessaires à son accroissement. Mais « les mesures nécessaires sont prises pour empêcher les arbres de grandir jusqu'au ciel ». Le but intérieur est en même temps une mesure extérieure que le développement de l'être vivant ne peut dépasser. L'espace et le temps n'ont de signification et de valeur que pour l'être vivant, car l'être vivant seul porte en lui la tâche de se conserver et de se développer lui-même, l'être vivant seul se perd lui-même quand il manque sa destination intérieure, s'il n'acquiert pas dans un temps déterminé un accroissement déterminé. L'individu porte en lui son but et sa mesure; ainsi, à l'opposé de l'unité purement *idéale* de l'atome, l'individu se montre comme une unité *réelle*.

Mais pour le naturaliste, ce n'est pas chose très-facile que de concevoir cette unité. N'oublions pas que cette unité individuelle repose sur la communauté des parties, et qu'on peut bien la sentir, mais non se la représenter réellement sans se faire une idée de la manière dont la communauté s'établit. La science peut bien unir, mais avant tout elle sépare; le premier devoir du naturaliste, c'est la décomposition, l'analyse, l'anatomie; ce n'est qu'en second lieu que vient la recomposition, la synthèse, la physiologie. Combien ce chemin est long pour nous, et que d'illusions nous apporte-t-il! Nous cherchons l'unité et nous trouvons la pluralité; entre nos mains nous voyons la construction organique se diviser, tom-

(1) « Te rappelles-tu aussi, ce que tu m'as dit un jour, quand nous avions usé toute notre eau de savon? C'était le soir, il faisait nuit, et les étoiles se levaient au ciel. Ce sont là aussi des bulles de savon, as-tu dit, le bon Dieu est assis sur une montagne élevée, il les souffle et s'y prend mieux que nous. » Scheffel, Ekkehard, Frankf.-s.-le-Mein, 1865.

Digitized by Google

ber en morceaux, et finalement nous trouvons les atomes. Est-ce bien là le vrai chemin qui nous conduit à la connaissance de l'individu? Pouvons-nous chercher la science de la vie là où nous ne trouvons que la mort? Cette science qui décompose toujours ne suit-elle pas une fausse route?

Si seulement il y en avait d'autres! Mais nous n'avons pas le choix! Il n'y a qu'une voie pour la recherche, et cette voie c'est l'observation, la décomposition, l'analyse; qu'elle opère sur des idées ou sur des corps. Il est vrai que le naturaliste peut tout aussi peu reconstituer le corps de la plante ou de l'animal qu'il a décomposé, que l'enfant ne peut reconstruire la montre sur laquelle sa jeune intelligence s'est exercée. Mais la nature est fertile. En avant! Ce n'est que dans les parties qu'on peut étudier et connaître la communauté!

La communauté de l'individu se compose d'un certain nombre tantôt plus grand, tantôt plus petit, de parties essentielles. C'est pour cela que nous donnons à cette communauté le nom d'*organisme*. Ces parties à la fois nécessaires et actives, ces organes, on le savait déjà dans l'antiquité, sont ordinairement formés eux-mêmes de parties plus petites de même nature, mais non de même importance. On les a appelées parties *similaires*, et l'on peut bien dire que l'histoire du progrès dans la connaissance des parties similaires est en même temps l'histoire de l'étude expérimentale de la vie, l'histoire de la physiologie, et dans un sens plus général, l'histoire de la biologie. C'est l'histoire bien longue des recherches les plus pénibles, histoire à laquelle les générations successives ont toutes travaillé avec une patience infatigable. On a cherché, d'abord avec les moyens les plus grossiers, ensuite avec des instruments de plus en plus délicats, à connaître les parties similaires dans leur forme et dans leur structure, dans leur activité et dans leurs effets, jusqu'à ce que nous soyons enfin parvenus, grâce aux moyens les plus parfaits que nous offrent la physique et la chimie, à étudier la vie dans ses manifestations les plus délicates. Les parties similaires des biologistes de nos jours sont presque invisibles à l'œil nu; ce que l'astronome atteint par le télescope dans l'espace céleste, le biologiste le trouve à un plus haut degré dans les limites étroites de l'organisme. Ses étoiles sont les cellules, et j'espère qu'il arrivera une époque où l'on regardera la découverte d'une nouvelle espèce de cellules, comme un événement aussi important, plus important peut-être que l'addition d'une nouvelle planète au nombre déjà si considérable des petites planètes connues.

Quelques siècles se sont déjà écoulés depuis qu'on connaît les cellules. Mais leur connaissance exacte ne date que de quelques dizaines d'années; elles ont à peine pris place dans la science, et il serait téméraire d'exiger que ces nouvelles considérations soient déjà entrées dans le domaine des connaissances répandues parmi les personnes instruites.

Mais chez nous plutôt que partout ailleurs, cet état de choses ne devrait plus exister, car c'est à la science allemande qu'il faut presque entièrement attribuer l'honneur d'avoir fait de l'étude de la cellule la base de la biologie. C'est *Schleiden* qui le premier a entrepris de ramener la vie de la plante à la cellule. *Schwann*, qui appartenait alors à notre université (1), a établi la composition et l'origine cellulaires des principaux tissus animaux. De nombreux chercheurs les ont suivis; moi-même je me suis efforcé de deviner l'histoire de la maladie en étudiant les modifications des cellules, et de démontrer l'unité cellulaire de la vie dans l'état de santé ou de maladie, de la vie animale comme de la vie végétale (1). Partout où la vie, soit saine, soit malade, est active, nous tombons sur ces petits organes qui, sous leur forme la plus simple, représentent des vésicules creuses dans lesquelles on peut distinguer, à l'intérieur, un noyau très-complexe, à l'extérieur une membrane très-fine, et entre les deux un contenu très-variable.

Toute vie est liée à la cellule, et la cellule n'est pas simplement le vase qui contient la vie, elle est la partie vivante elle-même. En réalité, tout individu organique est plein de vie. La vie ne siége pas en tel ou tel endroit; elle ne réside pas en telle ou telle partie. Non, elle est dans toutes les parties en tant qu'elles sont d'origine cellulaire. La vie n'est pas un attribut exclusif des nerfs ou du sang; dans la chair aussi, dans l'os, dans le cheveu, nous trouvons l'activité vitale, de même que la racine et la feuille, la fleur et la semence de la plante portent en elles la vie. Quelle richesse infinie dans cette image de la vie! A Zurich, près du Tiefenhof, se trouve un vieux tilleul; chaque année, lorsqu'il déploie son riche feuillage, il se forme, d'après l'évaluation de Nœgeli, à peu près 10 billions de nouvelles cellules vivantes (2). Dans le sang d'un adulte voyagent, à chaque instant d'après les calculs de Vierordt et de Welcker, près de 60 billions de petits corps cellulaires. Pleins d'humilité, nous élevons nos regards vers les étoiles éternelles auxquelles les générations humaines adressaient déjà leurs prières. Mais les merveilles de la nature ne se trouvent pas seulement dans le ciel étoilé; des merveilles plus grandes et plus difficiles à expliquer se passent continuellement dans notre intérieur. Connais-toi toi-même, mortel! Cherche en toi la vraie humilité de la connaissance de toi-même!

Qu'est-ce que l'organisme? une société de cellules vivantes, un petit État bien ordonné, avec tout l'accompagnement d'employés supérieurs et subalternes, de serviteurs et de maîtres, de grands et de petits. Au moyen âge, on avait l'habitude de dire que l'organisme est le monde en petit, le microcosme. Il n'en est rien! Le cosmos n'est pas une image de l'homme! Il n'y a de semblable à la vie que la vie elle-même. On peut appeler l'État un organisme, car il se compose de citoyens vivants; on peut de même appeler l'organisme un État, une société, une famille, car il consiste en membres vivants de même origine. Mais ici finit la comparaison. La nature est double. La nature organique est quelque chose de tout à fait particulier, quelque chose de tout autre que la nature inorganique. Quoique formée par la même substance, par des atomes de même nature, la matière organique nous offre une série continue de phénomènes différant, par leur nature même, du monde inorganique. Non pas que celui-ci représente la nature « morte », car il n'y a de mort que ce qui a vécu; la nature inorganique possède aussi son activité, son travail éternellement actif; mais cette activité n'est pas la vie, si ce n'est au figuré.

C'est pour cela que nous nous sentons vis-à-vis du reste de la nature, comme quelque chose de particulier et de spécial. Mais ce sentiment est singulièrement affaibli lorsque nous

(1) L'université de Berlin, où M. R. Virchow est professeur.

(1) Voir mes *Archives für path. anatomie, Physiologie und Klinisch Medicin*, t. IV, p. 375, t. VIII, p. 19, t. IX, p. 3.

(2) Voyez une leçon de M. Nœgeli sur l'*Individualité dans la nature principalement au point de vue du règne végétal* dans la *Revue des cours scientifiques*, 2e année 1865, p. 794.

Digitized by Google

apprenons, que chacun de nous, comme la plante et l'animal, représente une espèce de société. Certes, la sensation directe de la vie nouvelle qui anime toutes les parties de notre corps, est souverainement délicieuse et fortifiante. Celui qui a senti un certain nombre de ces cellules, de ces membres involontaires de la société, refuser leur service; celui dont les membres se sont affaiblis par une maladie grave, sait aussi apprécier le sentiment de bien-être que l'on éprouve lorsque chaque membre accomplit régulièrement ses fonctions, dans la plénitude de la vie. Mais nous voulons plus, le cœur de l'homme est insatiable ; l'esprit combat ce bien-être de la chair. Comment, nous ne serions qu'une communauté de parties, l'individu organique n'aurait d'existence que dans la communauté! N'est-ce pas là quelque chose de contraire à notre jugement esthétique, de contraire à nos connaissances philosophiques ?

En vérité, le naturaliste se trouve ici dans une position singulièrement critique. Doit-il s'opposer au jugement de ses sens? Doit-il rebrousser chemin au lieu de poursuivre ses recherches, doit-il, dans la conviction qu'ici toute expérience est insuffisante, renoncer à tout jamais à l'expérience? Soyons tranquilles! Sur quoi se fonde le jugement esthétique, qu'est-ce que le savoir philosophique? Le jugement esthétique se fonde sur l'observation de la forme; il se développe par l'étude de la nature; il s'élève au-dessus du simple sentiment esthétique parce qu'il pénètre les lois d'après lesquelles les formes se développent. Le jugement esthétique ne peut donc jamais tracer des lois aux sciences naturelles, il ne peut que les en recevoir ou les développer avec elles; s'il n'en fait rien, il dégénère en simple préjugé s'appuyant sur des traditions fausses, sur des ouï-dire, sur des contraintes d'école. En esthétique aussi, le jugement vrai se développe avec la perfection de la connaissance des lois de la forme, et si nous voyons assez souvent le sentiment profond de l'artiste, son indépendance, son intuition devancer de plusieurs milliers d'années les connaissances scientifiques, il n'en faut pas moins savoir bien distinguer entre l'artiste en tant qu'artiste et le critique d'art. Les vrais artistes n'ont jamais été ennemis de l'anatomie.

Les sciences philosophiques ne peuvent de même puiser la connaissance de la nature autre part que dans les sciences naturelles. Il n'y a pas de connaissances innées, et l'histoire de la philosophie, surtout celle de la philosophie allemande, nous prouve suffisamment qu'il est complétement impossible de construire la nature d'après de simples conceptions idéales. *Aristote*, *Bacon*, *Descartes* étaient eux-mêmes naturalistes ou embrassaient au moins toutes les connaissances naturelles de leur époque. La soi-disant philosophie naturelle, prise dans un sens plus restreint, n'a produit que de la confusion; chez tous nos philosophes, les endroits les plus faibles sont justement ceux dans lesquels ils traitent de la philosophie de la nature. Quelle raison aurions-nous donc de nous laisser effrayer par de pareils scrupules?

En réalité, ces scrupules ne sont qu'apparents, et il suffirait pour les lever de citer le témoignage d'hommes impartiaux, dont le jugement esthétique et philosophique est au-dessus de toute critique. « Un être vivant, dit Gœthe, n'est jamais une chose isolée, c'est toujours une pluralité; même en tant qu'individu, l'être vivant reste une réunion d'êtres distincts, qui sont égaux par l'idée, par le plan, mais qui peuvent devenir égaux ou semblables, inégaux ou dissemblables dans leur manifestation. » Peut-on parler plus clairement? Et il ajoute avec la même justesse : « Plus la créature est imparfaite, plus ces parties se ressemblent ou sont égales, et plus aussi elles ressemblent à l'être total. Plus la créature devient parfaite, plus les parties deviennent dissemblables. Plus les parties se ressemblent, moins elles sont subordonnées les unes aux autres. La subordination des parties indique une créature plus parfaite. » Comme exemple à l'appui de ces principes, il choisit la plante. « Qu'une plante, qu'un arbre même, qui cependant nous apparaît comme un individu, soit formé de parties distinctes, qui se ressemblent entre elles et à l'individu total, c'est là un fait hors de doute. Que de plantes se propagent par le marcottage! Le bourgeon d'une variété quelconque d'un arbre fruitier produit une branche, qui produit elle-même un nombre considérable de bourgeons semblables, et c'est de la même manière que se fait la propagation par semences. Elle n'est que le développement d'une quantité innombrable d'individus égaux sortis du sein de la plante-mère. »

Et c'est de ce même Gœthe que Hegel dit : « Ses travaux sur la métamorphose de la plante renferment les premières notions d'une appréciation raisonnable de la nature des plantes, parce qu'ils ont conduit à la connaissance de l'*unité* de la vie, la science qui ne se préoccupait que de faits isolés. L'identité des organes, ajoute-t-il, est une chose capitale dans la catégorie de la métamorphose; la différence définie et la fonction propre des organes qui constituent le phénomène de la vie, forment le second point nécessaire à cette unité substantielle. » Aussi Hegel parle-t-il des phénomènes de la propagation et de la conservation des plantes, en disant qu'elles se développent et se séparent en plusieurs individus pour lesquels l'individu total est plutôt un terrain qu'une unité subjective de membres; la partie, le bourgeon, la branche, etc., sont aussi la plante totale.

Telle était l'opinion de celui de nos poëtes qui certainement était le plus indépendant de tous, et dont le sentiment esthétique était certainement le plus pur et le plus naïf; telle est aussi l'opinion de celui de nos philosophes qui a exercé le plus librement le droit de la spéculation absolutiste. Gœthe comprend très-bien qu'il ne s'agit pas simplement de la conception de la plante, mais bien de la « créature » en général (1); Hegel va bien vite au delà de cette considération, parce que d'autres questions se présentent à lui dans l'étude de l'animal. Mais il appuie nettement sur le nœud même de la question de l'individu, en parlant à la fois de l'individu total unique et des individus en grand nombre qui se trouvent en lui. Quel est donc réellement l'individu? Est-ce le tout, sont-ce les parties?

Ne vous attendez pas, honorables auditeurs, à trouver dans les sciences naturelles une réponse unique à cette question. C'est une folie que de vouloir rendre les sciences naturelles responsables des erreurs de chaque naturaliste en particulier; se venger sur l'ensemble des naturalistes, des méfaits que tel ou tel a commis ou est supposé avoir commis, est une infamie; il serait tout aussi injuste d'exiger que tous soient d'accord sur toutes les questions d'une science tellement vaste qu'aucun mortel ne saurait l'embrasser dans tous ses détails. Le chimiste parle assez souvent des plantes, et le physicien des ani-

(1) Voir mon discours : *Gœthe comme naturaliste, étudié surtout comparativement à Echelles.*

Digitized by Google

maux, comme des personnes étrangères aux sciences naturelles; d'un autre côté, le botaniste est rarement assez chimiste, le zoologiste rarement assez physicien pour pouvoir vérifier par eux-mêmes toutes les parties des connaissances chimiques et physiques, et en comprendre toutes les conclusions. Ne voit-on pas le botaniste être en discussion avec le botaniste sur des questions de botanique, le physicien combattre le physicien sur des questions de physique? Les sciences naturelles n'ont qu'un seul lien véritable : c'est leur méthode. Avant tout, l'observation et l'expérience, ensuite la pensée sans autorité, la critique sans préjugés. Mais quelle variété dans la nature des objets soumis à l'observation, et des sujets dont s'occupe la pensée! Que d'obstacles viennent arrêter l'emploi régulier de la méthode!

La question de savoir où se trouve le véritable individu n'a jamais été soulevée comme question générale commune à toutes les branches des sciences naturelles. Elle n'appartient qu'aux branches qui s'occupent de la nature organique, et dans ces branches mêmes elle n'a été approfondie que par les botanistes (1). Jusqu'ici on n'est pas encore arrivé à une conclusion décisive. L'un voit l'individu dans la plante totale, l'autre dans la branche ou dans le bourgeon, le troisième dans la feuille ou dans le bourgeon, le quatrième dans la cellule, et chacune de ces manières de voir a pour elle des raisons importantes. De pareilles contradictions peuvent nous faire révoquer en doute la compétence de la botanique dans cette question. Mais que chacun décide par lui-même. Il y a des plantes qui consistent en une cellule unique, d'autres qui ne sont que de simples rangées de cellules. Dans d'autres, les cellules s'ordonnent et se transforment en organes et en systèmes; mais ici encore, la plante engendre de nouveau une cellule lorsqu'elle se propage; c'est de cette cellule que naît la plante fille, la nouvelle plante. Quel est maintenant l'individu? Beaucoup de plantes se propagent ou plutôt se multiplient par bouture. Une branche coupée et plantée en terre croît, elle produit de nouvelles branches que l'on peut de nouveau couper et planter. C'est ainsi, par exemple, que presque tous les saules pleureurs de l'Europe proviennent d'un seul arbre qui fut transporté d'Asie en Angleterre, dans le siècle précédent. Ils sont tous des parties appartenant à un même tout. Forment-ils un individu? Le fait est clair et certain; mais quelle est sa véritable signification? Le fraisier envoie ses stolons horizontalement sur la terre; le rejet prend racine, une nouvelle plante se développe, se fixe à la terre et le fil mince qui la reliait à la plante-mère se dessèche. Sur nos prés, nous ne voyons que trop souvent fleurir la cardamine; quelquefois il se développe sur ses feuilles une petite plante flottant librement dans l'air. Nous améliorons des plantes et des arbres fruitiers sauvages en y fixant un bourgeon ou un rameau détaché d'une espèce meilleure. Où trouver ici les limites de l'individu?

Chez les animaux, la question n'est pas plus simple. La plupart des animaux se propagent par des œufs, et tout œuf est primitivement une cellule. Beaucoup d'animaux se développent au moyen de gemmes. Vers l'automne, à la suite de chaque orage, la mer rejette sur nos côtes des milliers et des milliers d'acalèphes, ces singulières masses gélatineuses dont les couleurs vives et brillantes charment tant l'œil. Les femelles conduisent avec elles des petits sortis d'œufs cellulaires et qui nagent déjà. Si ces zoophytes restent au fond de la mer, les petits se fixent au bout de quelque temps; ils deviennent de petits polypes, et, au bout de quelque temps, il se forme à leur extrémité libre des corps en forme d'écuelles, qui se superposent les uns aux autres; ces corps se développent de plus en plus, et se détachent finalement, pour être de nouveaux acalèphes. Et toujours l'acalèphe produit des œufs dont sortent de nouveaux polypes, et les polypes produisent des gemmes dont sortent de nouveaux acalèphes.

Mais les polypes ne se propagent pas tous par gemmes. Il y en a qui produisent des œufs et se perpétuent de la manière ordinaire. Beaucoup d'entre eux peuvent se multiplier par scission comme les plantes. Déjà Trembley a fait cette

Fig. 306. — Hydre à longs bras (l'animal est fixé à un végétal). — *ab*, cul-de-sac digestif. — *e*, niveau de la bouche; à droite, l'un des bras *c* saisit un petit crustacé *m*. — Un autre hydre *d* bourgeonne sur son corps. — En *h*, organe hastiforme pour la défense.

célèbre expérience pour les polypes d'eau douce dans nos étangs; il coupa l'animal en deux et les parties redevinrent polypes. Mais cela ne suffit pas. Dans la Méditerranée existe un genre de magnifiques polypes nageurs, que Charles Vogt a fait connaître (1). Un jeune polype sort d'un œuf. A sa partie supérieure il forme une petite ampoule dans laquelle se développe de l'air que supporte le polype; à sa partie inférieure se forment des tentacules et des appendices avec les formes les plus riches et les plus variées, avec des organes particuliers. Le tronc, qui s'allonge de plus en plus, est traversé par un canal. De ce tronc naissent des rameaux semblables à des bourgeons. Les uns produisent des séries de cloches à natation qui leur permettent de se déplacer, eux et l'animal total. Les autres se transforment en polypes nouveaux possédant une bouche et un estomac, et qui non-seulement recueillent la nourriture mais la digèrent pour la faire parvenir dans le canal commun. D'autres rejets prennent un aspect d'acalèphes et veillent à la propagation; ils produisent des œufs dont on voit sortir de nouveaux polypes qui nagent librement. Quel est ici l'individu? Le jeune polype nous

(1) Voyez Nœgeli, leçon citée plus haut. — *Revue des Cours scientifiques*, 1855, p. 794.

(1) C. Vogt, *Recherches sur les animaux inférieurs de la Méditerranée*, I. *Sur les Siphonophores de la mer de Wile*.

Digitized by Google

paraît simple, il devient un pied pareil à une plante. Sur ce pied poussent des tentacules semblables à des racines, mais qui se meuvent librement et saisissent leur proie ; le pied devient un tronc avec un canal nutritif, mais, de même que la plante, il n'a pas de bouche pour utiliser ce canal. Il pousse des bourgeons comme la plante, mais chaque bourgeon a ses fonctions spéciales qu'il paraît accomplir avec une activité propre. Des branches ou des rameaux animés de mouvements particuliers produisent les déplacements de l'individu, d'autres servent à la préhension et à la digestion des aliments, les autres à la propagation. Le tronc n'est rien sans les membres, les membres ne sont rien sans le tronc. Quel est l'individu? quel est l'organe? Les organes sont-ils des individus? L'animal total est-il un assemblage d'individus, une famille, une colonie, ou même, comme le dit Vogt, un phalanstère?

Quelle image désolante, quelle vie déchirée! Tout ce que nous sommes habitués à voir réuni dans un seul corps, à nous figurer comme caché sous une enveloppe commune, tout cela est étendu sous nos yeux, divisé, nettement séparé. L'individu total est disloqué et forme une masse de membres à peine réunis, de corps distincts dont la nature individuelle nous apparaît avec la même certitude, avec les mêmes doutes que celle du tronc, qui est totalement tombé en leur servitude. Où voyons-nous la liberté ici? où la spontanéité? Devons-nous réellement prendre ces zoophytes comme points de comparaison avec notre individualité tranchée, tout à fait une? Devons-nous chercher dans des créatures si infimes la mesure de notre propre nature?

Permettez-moi de répondre à cette question par les paroles mêmes du père des sciences naturelles. « Nous devons, dit le précepteur d'Alexandre le Grand, examiner tout animal sans faire la grimace, puisque dans toute chose il y a quelque chose de naturel et d'excellent. Car on trouve dans les œuvres de la nature, non pas l'existence due au hasard aveugle, mais aussi l'existence qui implique un but; ce but qui les fait persister et qui les fait naître réside surtout dans la région du beau. Si quelqu'un voulait considérer comme une chose avilissante l'observation des autres animaux, il devrait avoir la même opinion de lui-même, car on ne peut regarder sans répugnance les parties dont l'homme est formé, le sang, les os, les veines et autres parties de ce genre. Mais il faut se persuader que celui qui observe une partie quelconque, un vaisseau quelconque, ne fait pas ses observations sur cette seule partie, et à cause d'elle seule, mais bien à cause de l'ensemble ; de même qu'il s'agit de la maison et non pas des tuiles, de l'argile et du bois, de même le naturaliste doit avoir en vue la composition générale, l'être total, et non pas ce qui n'a aucune existence isolée. Mais il est, avant tout, nécessaire de déterminer d'abord dans chaque genre les phénomènes que l'on trouve chez tous les animaux; alors seulement on peut essayer de deviner les causes. »

Montons maintenant d'un degré; passons des invertébrés aux vertébrés. Ici nous voyons partout un plan général d'organisation, depuis le poisson le plus petit jusqu'à l'homme. Nulle part des souches de plantes ou de zoophytes, partout des individualités bien renfermées. Plus nous nous élevons dans l'échelle des vertébrés, plus nous voyons apparaître l'unité de l'individu, jusqu'à ce qu'elle devienne finalement subjective dans la conscience de l'homme, et qu'elle acquière par là une certitude absolue. Le naturaliste n'évite pas les recherches subjectives, mais il n'attribue un caractère de certitude aux expériences subjectives que lorsque le sujet se considère lui-même comme objet d'une observation tout à fait indépendante dans le véritable sens philosophique. Que pouvons-nous apprendre en nous plaçant à ce point de vue?

La conscience pour le naturaliste comme pour le philosophe est un fait aussi certain qu'inexplicable. Dire que la conscience est une propriété de l'âme, c'est expliquer tout aussi peu les phénomènes qu'en affirmant qu'elle est une propriété du cerveau. Avec ces mots, nous n'expliquons rien, pas plus que nous n'expliquons la pesanteur, quand nous disons qu'elle est une propriété de tous les corps. Si nous voulions expliquer ce que c'est que la pesanteur, il ne nous suffirait pas de prouver qu'elle consiste en une attraction générale et réciproque de toutes les particules, mais il nous faudrait montrer comment ces particules s'y prennent pour s'attirer. Quoiqu'il nous soit impossible de le faire, nous sommes dans notre droit en nous servant de la pesanteur pour expliquer un grand nombre de phénomènes du ciel et de la terre, et nous pourrions procéder de la même manière pour la conscience. Mais nous rencontrons ici une difficulté capitale. La pesanteur est une propriété de tous les corps ; la conscience n'est pas une propriété de tous les individus, car les plantes et une foule d'animaux ne nous fournissent pas la moindre raison de leur attribuer la conscience. La conscience n'est non plus une propriété constante de l'homme, puisque nous ne voyons que trop de cas d'inconscience chez lui; enfin elle n'est pas une propriété de l'homme total, car l'expérience nous apprend qu'elle est liée de la manière la plus intime au cerveau. Il y a plus, et c'est là une nouvelle difficulté, la conscience ne s'exerce que sur une partie relativement très-petite des phénomènes qui se passent dans notre corps, même lorsqu'elle est dans son état le plus normal. Si l'expérience essentiellement objective ne nous avait pas conduit dans la suite des siècles à rendre accessibles à l'observation les phénomènes les plus secrets de notre corps, le domaine sur lequel s'étend notre conscience serait singulièrement borné. Lorsqu'un homme a le malheur de subir une lésion qui détruit la continuité de la moelle épinière, il perd immédiatement la conscience de tous les phénomènes qui se passent dans les parties du corps dont les nerfs rejoignent la moelle épinière au-dessous de la lésion; toute influence de la volonté est donc éteinte, et pourtant ces parties vivent, et pourtant l'individu persiste.

La conscience n'est donc que l'unité subjective et non l'unité objective de l'individu. La conscience n'est pas la cause déterminante, elle est déterminée; elle n'est pas la force qui agit dans le corps, la force par laquelle se réalise le plan de l'organisation, le but de l'individu ; au contraire, elle nous apparaît comme la manifestation ultime et la plus élevée de la vie, comme le fruit le plus noble de la longue série de phénomènes qui s'enchaînent les uns aux autres et forment l'histoire de l'individu. L'individu, comme être corporel considéré dans toute la plénitude et dans toute la richesse de sa vie, doit nécessairement être quelque chose de complexe intérieurement, car ce n'est que de cette manière qu'il lui est donné de se développer, de passer des états les plus inférieurs aux états les plus élevés, de rajeunir constamment les formes de la vie. La vie doit être la résultante de l'activité de toutes les parties isolées, et toutes ces parties doivent à la fois avoir quelque chose de commun et quelque chose de particulier. Car sans les caractères de communauté qui doivent même se ressembler chez les animaux et chez les plantes, la concep-

Digitized by Google

tion de la vie cesserait d'être une vérité égale pour tous, et sans les caractères particuliers, la vie serait une même chose chez tous. L'individu humain est aussi une communauté.

L'observation nous montre l'individu humain formé d'une série de systèmes dont l'un sert à la sensation, l'autre au mouvement, l'autre à la nutrition et à la respiration; d'autres supportent ou relient certaines parties du corps, etc.— Chacun de ces systèmes embrasse un certain nombre d'organes particuliers, chaque organe renferme un nombre ordinairement assez restreint de tissus, et chaque tissu est formé de cellules et de veines cellulaires. Le « Moi » du philosophe n'est qu'une conséquence du « Nous » du biologiste. Je serais entraîné trop loin si je voulais vous énumérer toutes les raisons qui nous conduisent à conclure que les cellules et leurs dérivés sont aussi dans le corps humain les parties réellement actives, que la vie est inhérente à chacune d'elles, que chacune d'elles possède une certaine indépendance et que tout phénomène vital repose sur l'activité, sur l'action concourante ou opposée, ou enfin sur l'inactivité ou la destruction d'un certain nombre d'unités cellulaires. Le mystère de l'individualité consiste indubitablement dans les différences délicates de disposition et de développement des cellules isolées ou des groupes cellulaires. Comme dans la vie des États, de même aussi dans la vie des individus, l'état de santé de l'ensemble est produit par le bien-être et l'intimité des relations des membres isolés; dès qu'un membre quelconque commence à tomber dans une inactivité nuisible à la communauté ou même à mener une existence parasite aux dépens de l'ensemble, la maladie a pris naissance. La maladie détruit toutes les illusions qu'on peut se faire sur l'unité substantielle de l'organisme : la souffrance comme la guérison n'est possible qu'aussi longtemps qu'il reste dans la grande communauté un certain reste de parties saines capables de vivre et d'agir.

Est-ce la cellule qui est l'individu, ou bien est-ce l'homme? Est-il possible de faire une réponse simple à cette question? Je dis : non! Mais je vous en prie, n'allez pas conclure de là que la science de la nature est incapable de donner une explication certaine. La difficulté gît tout entière en ceci : le mot individu est entré dans le langage longtemps avant que nous n'ayons pu nous faire une idée exacte du sens qui doit y être attaché. Ce sens n'est donc pas nettement délimité, et chacun peut à sa guise l'étendre ou le restreindre selon que son expérience lui fait concevoir d'une manière plus fine ou plus grossière l'existence individuelle. L'idée de l'atome considéré comme la partie ultime de la matière est certaine et invariable, aussi ne dépend-elle pas de l'expérience immédiate comme l'idée d'individu qui est devenue incertaine et multiple avec le développement de l'expérience. Si l'on ne peut pas se décider à distinguer les individus en individus collectifs et en individus simples, ce qui serait la meilleure manière de tourner la difficulté, il faut absolument rayer des branches organiques des sciences naturelles l'idée d'individu ou bien la considérer comme intimement fixée à la cellule. Les matérialistes systématiques aussi bien que les spiritualistes arriveront forcément au premier résultat; l'observation réaliste et indépendante de la nature me semble conduire au second, parce que c'est la seule manière de concevoir la vie d'une manière uniforme dans toute l'étendue de l'organisme animal et végétal. Et c'est justement là ce qui me paraît être la première et la plus importante condition de l'observation de la nature, car c'est là le point où les tendances réalistes du simple naturaliste se confondent avec les aspirations du penseur qui cherche dans l'histoire de la nature le plan de la création. Les sciences naturelles de nos jours siégent en véritable tribunal au-dessus des faits; elles ne les jugent pas comme faits isolés, mais comme les membres d'une série régulièrement constituée.

L'observation de la création organique nous conduit de génération en génération, à travers une longue série d'êtres vivants, beaucoup au-delà des temps nébuleux de notre histoire, beaucoup au-delà des origines du genre humain, à l'époque de pierre de l'histoire du globe. Nous voyons les origines les plus faibles du règne végétal, nous retrouvons les débris de races animales depuis longtemps éteintes, et nous ne rencontrons que très-tard le roi de la création. Des milliers d'années, la géologie compte des millions de siècles, se passèrent avant l'apparition d'individus cellulaires constituant ces grandes communautés dans lesquelles on voit apparaître l'instinct d'abord, et plus tard, la conscience. L'histoire écrite de nos connaissances nous montre comment le domaine réel de la conscience s'est merveilleusement agrandi. L'histoire des peuples et des États dans leur naissance et leur disparition, remplit notre esprit d'amertume et de doute; nous nous demandons journellement avec anxiété, si nous marchons vers le bien ou vers le mal, si le genre humain ne dégénère pas, si la civilisation ne court pas au devant de la destruction; l'histoire de la vraie science ne nous montre, au contraire, que le progrès. Les États tombent, les peuples disparaissent sous les pieds des conquérants, mais la science reste pour pousser de nouvelles racines parmi ceux qui tout à l'heure n'étaient que des barbares. Chaque année, les feuilles de l'arbre se fanent pour laisser pousser l'année suivante des bourgeons nouveaux et plus complets; tous les jours, les corpuscules du sang humain se transforment afin de permettre à de nouveaux éléments de recommencer l'œuvre de la propre destruction. De même aussi les peuples se fanent, les enfants des hommes se succèdent, et chaque nouvelle génération se connaît mieux elle et la nature; la conscience devient toujours plus certaine; l'individu plus puissant et plus libre domine de plus en plus l'atome! En reconnaissant que le développement intellectuel est une partie inséparable de la vie, l'homme accorde à son existence corporelle la considération que des idées hostiles à la lumière et à la vie ont trop facilement détruites. Celui qui sait que le but suprême de la vie ne peut être atteint que si des parties distinctes, en quantités innombrables, possédant le caractère d'une existence individuelle et se propageant de génération en génération dans un rajeunissement continuel, travaillent dans un but final commun, celui-là seul peut admirer dans l'intimité de sa conscience cette harmonie si recherchée et cependant si inattendue, qui satisfait la raison et le cœur, et qui donne naissance à la dignité morale et lui sert de mesure.

R. VIRCHOW.

Traduit de l'allemand par FELTZ.

Digitized by Google

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS.

PHYSIQUE MÉDICALE.

COURS DE M. GAVARRET (*).

Des images par réflexion et par réfraction.

DES LENTILLES PLACÉES DANS L'AIR (suite).

119. *Plans focaux.*— Les propriétés des plans focaux sont les mêmes que celles des plans focaux d'une lentille placée dans l'air. En effet :

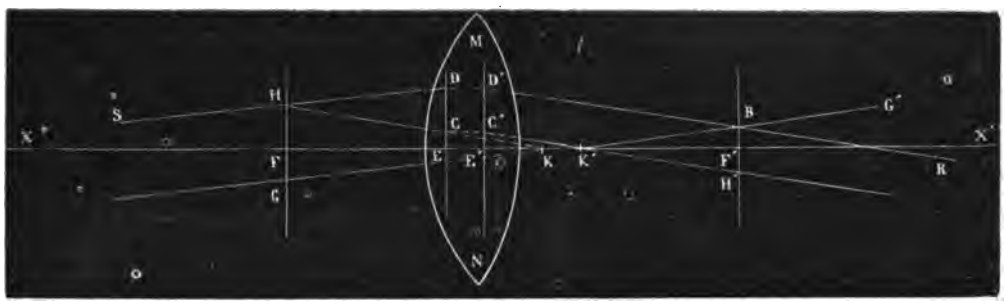


FIG. 307.

1° Nous avons vu (116) que tous les rayons incidents qui se croisent en un point H (fig. 307) du premier plan focal F émergent parallèlement entre eux. Mais il est un de ces rayons incidents dont la direction passe par le premier point nodal K et qui émerge suivant une parallèle au rayon incident mené par le second point nodal K'.

Donc lorsqu'un point lumineux est sur le premier plan focal, les rayons émergents sont tous parallèles à la ligne de direction qui joint le point lumineux au premier point nodal.

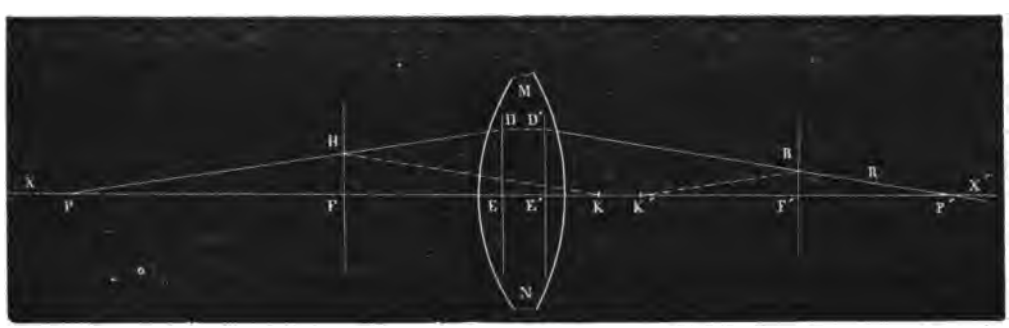


FIG. 308.

— Dans le cas particulier où le point lumineux est au premier foyer principal F, les rayons émergents sont tous parallèles à l'axe principal.

2° Soit SD (fig. 307) un rayon incident quelconque qui perce en H le premier plan focal F, et en D le premier plan principal E, le point D' du second plan principal E' appartient à la direction du rayon émergent. — Menons un rayon incident GK parallèle à SD et qui passe par le premier point nodal K ; ce rayon émerge suivant K'G' parallèle à GK. — La droite D'R menée par D' et par le point B où K'G' perce le second plan focal F' est le rayon émergent correspondant au rayon incident SD. — En effet, ce rayon incident SD, perçant le premier plan focal en H, doit émerger parallèlement aux lignes de direction HK, K'H'. — Or, par construction, les lignes K'B, KG sont parallèles ainsi que les lignes K'H', KH, les deux triangles KHG, K'H'B sont donc semblables et nous avons :

$$\frac{HG}{BH'} = \frac{KF}{K'F' = EF}$$

Mais, d'autre part, HD étant parallèle à GK, les deux triangles KHG, HCD sont semblables et donnent :

$$\frac{HG}{CD = C'D'} = \frac{KH}{CH} = \frac{KF}{EF} \quad \text{D'où :} \quad \frac{HG}{C'D'} = \frac{HG}{BH'}$$

Donc C'D' = BH', D'B est parallèle à C'H' et, comme il fallait le démontrer, D'R rayon émergent correspondant au rayon incident SD passe par le point B du second plan focal. — Or, le point B ainsi déterminé reste évidemment le même pour tous les rayons incidents parallèles à SD.

Donc le foyer d'un faisceau de rayons incidents parallèles entre eux est sur le second plan focal F' au point B où ce plan est percé par la ligne de direction parallèle aux rayons incidents menée par le second point nodal K'. — Dans le cas particulier où les rayons incidents sont parallèles à l'axe principal, le foyer des rayons émergents est au second foyer principal F'.

Un rayon incident quelconque SD et le rayon émergent correspondant D'R doivent donc satisfaire aux conditions suivantes : — La ligne de direction HK menée du point où le rayon incident perce le premier plan focal F au premier point nodal K est parallèle au rayon émergent D'R ; — le rayon incident SD est parallèle à la ligne de direction K'B qui joint le second point nodal K' au point où le rayon émergent D'R perce le second plan focal F'. — Il est donc toujours facile de construire géométriquement le rayon émergent correspondant à un rayon incident quelconque.

120. *Foyer d'un point lumineux placé sur l'axe principal.* — Soit P (fig. 308) un point lumineux quelconque situé sur

(*) Voy. les nos 26, 27, 28, 30, 32, 34, 36 et 41.

Digitized by Google

l'axe principal. Le rayon incident quelconque PD émerge suivant la ligne D'R telle que HK est parallèle à un rayon émergent D'R et K'B au rayon incident PD.

Les triangles rectangles semblables PHF, K'BF' donnent :

$$\frac{PF}{K'F' = EF} = \frac{HF}{BF'}$$

D'autre part, les triangles rectangles semblables KHF, P'BF' donnent :

$$\frac{KF = E'F'}{P'F'} = \frac{HF}{BF'} \quad \text{D'où :} \quad PF \times P'F' = EF \times E'F' = \varphi\varphi'$$

sur K'S'. — Le point S fournit en outre deux rayons incidents : SD parallèle à l'axe principal, SC qui passe par le premier foyer principal F ; le premier émerge suivant D'S' qui passe par le second foyer principal F', et le second suivant C'S' parallèle à l'axe principal. — Le foyer du point lumineux S est donc au point S' où ces deux rayons émergents se coupent sur la ligne de direction K'S'.

Du point S et de son foyer S' abaissons les deux perpendiculaires SP, S'P' sur l'axe principal ; nous avons deux couples de triangles semblables FSP, FEC et F'D'E', F'S'P' qui donnent :

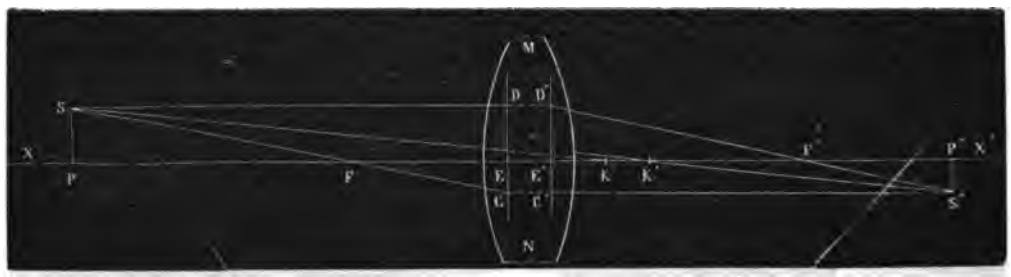


FIG. 309.

Le point P' ainsi déterminé indépendamment de l'inclinaison du rayon incident sur l'axe principal est le foyer des rayons émergents.

Si nous continuons à faire $PF = l$, $P'F' = l'$, nous aurons pour formule générale (*) des foyers conjugués P, P' :

$$(4) \qquad ll' = \varphi\varphi'$$

121. *Foyer d'un point lumineux situé hors de l'axe principal.* — Soit S (fig. 309) un point lumineux quelconque situé hors de l'axe principal. Le rayon incident SK dont le prolongement passe par le premier point nodal, émerge suivant K'S' parallèles à SK. Les deux lignes parallèles SK, K'S' sont les *lignes de direction* et le foyer du point lumineux S est nécessairement

$$(5) \qquad \begin{cases} PF \times F'F' = \varphi\varphi' \\ \dfrac{S'P'}{SP} = \dfrac{\varphi}{PF} \end{cases}$$

Ces deux relations déterminent la position du foyer S' du point lumineux S situé hors de l'axe principal.

Ces deux relations montrent, en outre, que si des points lumineux sont placés sur un plan perpendiculaire à l'axe principal mené par SP, leurs foyers seront sur le plan perpendiculaire à l'axe principal mené par S'P'. Enfin il est facile de voir que ces points lumineux et leurs foyers seront semblablement distribués sur ces deux plans.

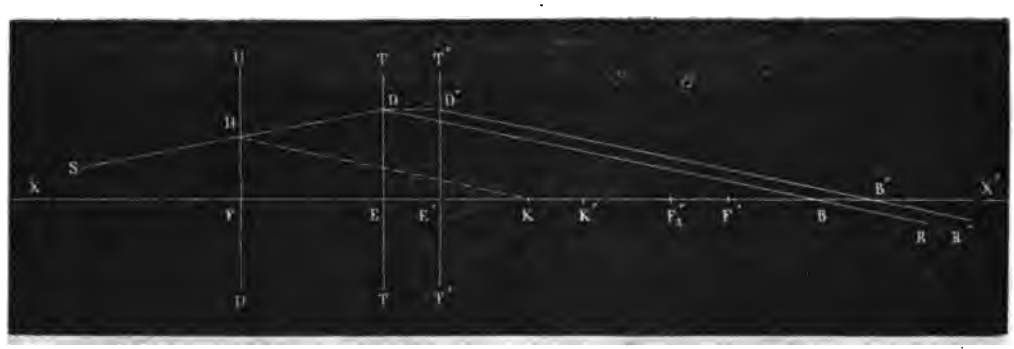


FIG. 310.

(*) En comptant les longueurs à partir des points principaux E, E', et en faisant $PE = p$, $P'E' = p'$, on a :

$$l = p - \varphi \qquad l' = p' - \varphi'$$

D'où en substituant :

$$(p - \varphi)(p' - \varphi') = \varphi\varphi' \qquad p\varphi' + p'\varphi = pp'$$

En tenant compte de la relative $\frac{\varphi'}{\varphi} = \frac{n_2}{n_0}$, on obtient pour formule générale des foyers conjugués :

$$\frac{n_2}{p'} + \frac{n_0}{p} = \frac{n_0}{\varphi}$$

122. *Rapports de position et de grandeur d'un objet et de son image.* — Prenons SP (fig. 309) pour un objet lumineux ou éclairé, il résulte des considérations précédentes que S'P' est son image. — L'objet étant donné, la position de son image est déterminée par la première des équations (5), et la seconde de ces équations exprime le rapport de grandeur de l'image et de l'objet.

123. *Propriété remarquable des plans principaux.* — Soient : (fig. 310) E, E' les points principaux, TT, T'T' les plans principaux, K, K' les points nodaux, F, F' les foyers principaux d'une lentille quelconque M placée entre un milieu d'indice n_0 et un milieu d'indice n_2. Supprimons la lentille M et séparons les deux milieux d'indice n_0, n_2 par une surface sphérique dont le sommet soit en E au premier point prin-

Digitized by Google

cipal, et le centre en K au premier point nodal. — Cette surface réfringente de rayon de courbure $r = KE$ se confond sensiblement avec le plan principal TT dans le voisinage de l'axe principal XX'.

Si nous continuons à désigner par les lettres φ, φ' les distances focales EF, E'F' de la lentille M, nous aurons par construction :

$$KE = FK - FE = \varphi' - \varphi$$

Mais, d'autre part, nous savons que :

$$\varphi' = \frac{n_2}{n_0}\varphi$$

Ce qui donne pour valeur de rayon de courbure de la surface sphérique dont le sommet est en E et le centre en K.

$$r = KE = \varphi' - \varphi = \frac{n_2 - n_0}{n_0}\varphi$$

Ou encore : $$r = KE = \varphi' - \varphi = \frac{n_2 - n_0}{n_2}\varphi'$$

Si nous appelons f, f' les distances focales de cette surface sphérique placée entre les milieux d'indices n_0 n_2, nous avons :

$$f = \frac{n_0 r}{n_2 - n_0} \qquad f' = \frac{n_2 r}{n_2 - n_0}$$

La substitution des valeurs de r dans ces deux équations donne :

$$f = \varphi \qquad f' = \varphi'$$

Les distances focales de la surface sphérique sont donc égales à celles de la lentille M qu'elle remplace. Le point F est à la fois le premier foyer principal de la lentille et de la surface sphérique et UU est leur premier plan focal commun. Le second foyer principal de la surface sphérique est en F'_1 point tel que $F'_1F' = EE' = KK'$.

Cela posé, soit SD un rayon incident quelconque qui perce en H le plan focal UU. — D'après les propriétés des plans focaux, la surface sphérique réfracte ce rayon suivant DR parallèle à HK, et la lentille M l'aurait réfracté suivant D'R' parallèle à la même ligne de direction HK. — Ces deux rayons DR, D'R', correspondants au même rayon incident SD et transmis le premier par la surface sphérique de rayon $r = KE$, le second par la lentille M, sont donc parallèles entre eux et coupent l'axe principal XX' en des points B, B' tels que $BB' = DD' = EE' = KK'$.

Étant donnée une lentille M placée entre deux milieux d'indices n_0, n_2, on peut donc remplacer cette lentille par une simple surface sphérique dont le sommet soit au premier point principal E et le centre au premier point nodal K. — Les rayons transmis par la surface sphérique sont parallèles à ceux qu'aurait transmis la lentille M; pour déterminer les positions réelles des rayons transmis par la lentille, il suffit de transporter parallèlement à eux-mêmes et d'une distance BB', comptée sur l'axe principal, égale à l'intervalle EE' des deux points principaux, les rayons transmis par la surface sphérique de rayon KE.

DES ASSOCIATIONS DE LENTILLES SÉPARÉES PAR DES MILIEUX TRANSPARENTS QUELCONQUES.

124. La marche adoptée dans l'étude des associations de lentilles placées dans l'air permettrait évidemment de déterminer les points principaux, les foyers principaux, les distances focales et par conséquent les points nodaux d'un système de deux lentilles séparées par des milieux quelconques et cette détermination pourrait être successivement étendue au cas de trois et quatre lentilles associées. Nous nous contenterons de montrer comment, sans s'écarter de la méthode géométrique, on peut résoudre toutes les questions relatives au trajet de la lumière à travers un appareil dans lequel sont réalisées les conditions optiques de l'organe de la vision.

125. Soit M_1 (fig. 311) une lentille biconvexe d'indice de réfraction n_2 plongée dans un milieu transparent d'indice

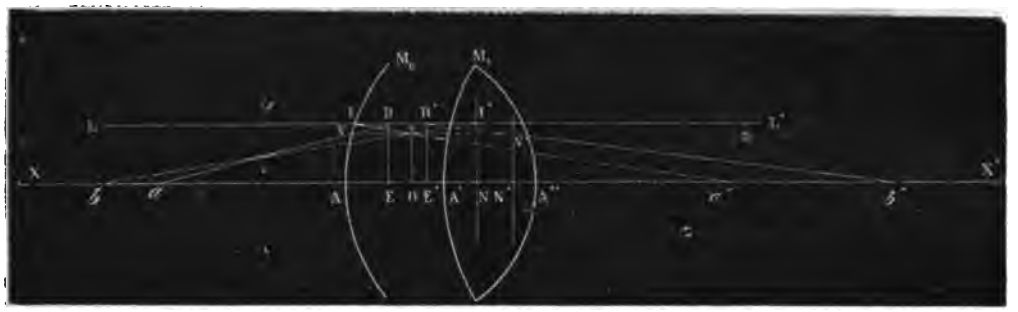


Fig. 311.

$n_1 < n_2$; ce milieu est indéfiniment prolongé en arrière de la seconde face A'' de la lentille; en avant de la première face A' de la lentille, ce milieu est terminé par une surface convexe M_0. Cette surface M_0 et la lentille M_1 sont centrées sur une même droite XX' qui est l'axe principal du système; le centre de courbure de la surface M_0 se confond avec le sommet A'' de la seconde face de la lentille ou du moins est excessivement rapproché de ce point A''. — La lumière incidente se meut dans l'air et pénètre par la surface convexe M_0; la lumière émergente se meut dans le milieu transparent d'indice de réfraction n_1.

Appelons r, r', r'' les rayons de courbure des surfaces réfringentes A, A', A''; d'après les conventions précédemment adoptées (106), les deux premiers rayons de courbure r, r' sont *positifs*, le troisième r'' est *négatif*. — Les foyers principaux de ces trois surfaces réfringentes sont *réels* et leurs distances focales sont déterminées par les relations suivantes :

1re surface réfringente A.

1re distance focale : $f_0 = \frac{r}{n_1 - 1}$ 2e dist. foc. : $f'_0 = \frac{n_1 r}{n_1 - 1}$

2e surface réfringente A'.

1re distance focale : $f_1 = \frac{n_1 r'}{n_2 - n_1}$ 2e dist. foc. : $f'_1 = \frac{n_2 r'}{n_2 - n_1}$

3e surface réfringente A''.

1re distance focale : $f_2 = \frac{n_2 r''}{n_1 - n_2}$ 2e dist. foc. : $f'_2 = \frac{n_1 r''}{n_1 - n_2}$

Digitized by Google

Les foyers principaux de la lentille M_1 sont réels, puisque son indice n_2 est plus grand que l'indice n_1 du milieu dans lequel elle est placée; ses distances focales sont positives et égales, nous désignons leur valeur commune par la lettre ψ. En faisant $A'A''=\varepsilon$, nous avons :

$$(1) \qquad \psi=\frac{\varepsilon f_1 f_2}{f'_1+f_2-\varepsilon}$$

La position des points N, N', qui sont à la fois les points principaux et les points nodaux de la lentille M_1 est déterminée par les relations :

$$(2) \qquad \begin{cases} A'N=\dfrac{\varepsilon f_1}{f'_1+f_2-\varepsilon} \\ A''N'=\dfrac{\varepsilon f'_2}{f'_1+f_2-\varepsilon} \end{cases}$$

126. *Points et plans principaux du système.* — Soient : (fig. 311) a, a' les foyers principaux de la première surface réfringente M_0, b, b' les foyers principaux de la lentille M_1. — La droite LL', parallèle à l'axe principal, perce en I la surface M_0, en I' le premier plan principal N de la lentille M_1. Du point S, où se coupent les droites Ia', I'b, abaissons une perpendiculaire sur l'axe principal.

Pour déterminer la position du point E, nous avons les deux couples de triangles rectangles semblables, a'IA, a'SO et aDE, aVA, qui donnent, en tenant compte des relations IA = DE, VA = SO et $AO=\frac{ef'_0}{f'_0+\psi}$:

$$AE=\frac{ef_0}{f'_0+\psi-e}$$

Pour déterminer la position du point E', nous avons les deux couples de triangles rectangles semblables, bI'N, bSO et b'D'E', b'V'N', qui donnent, en tenant compte des relations I'N = D'E', V'N' = SO et $NO=\frac{e\psi}{f'_0+\psi}$:

$$N'E'=\frac{e\psi}{f'_0+\psi-e}$$

La distance du point N' au sommet A'' de la seconde face de la lentille M_1 étant donnée par la seconde des équations (2), les positions sur l'axe principal des deux points principaux du système se trouvent ainsi déterminées.

127. *Foyers principaux. — Distances focales.* — Ces dernières relations permettent de déterminer géométriquement la position des foyers principaux et la valeur des distances focales du système.

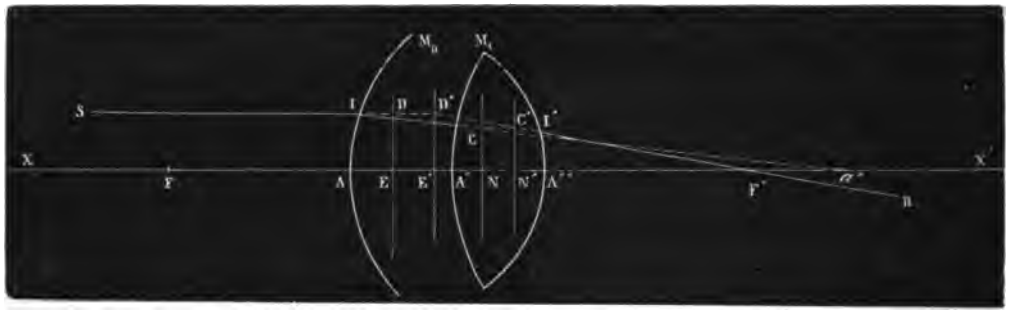


Fig. 312.

En raison de la très-faible amplitude de la surface M_0, l'arc AI se confond avec la perpendiculaire en A à l'axe principal, et l'on peut, sans erreur sensible, faire AI = I'N. Cela posé, des deux couples de triangles semblables, a'IA, a'SO, bI'N, bSO, on tire :

$$\frac{AO}{NO}=\frac{Aa'}{Nb}=\frac{f'_0}{\psi}$$

Si nous faisons AN = e, nous avons :

$$AO+NO=e$$

D'où : $$AO=\frac{ef'_0}{f'_0+\psi} \qquad NO=\frac{e\psi}{f'_0+\psi}$$

Le point O étant ainsi déterminé, prenons la perpendiculaire SO pour un objet qui rayonne à la fois vers la surface réfringente M_0 et vers la lentille M''_1. Le point S fournit un rayon parallèle à l'axe principal SV, qui rencontre en V la surface M_0, et est réfracté suivant Va; ce point S fournit aussi un rayon parallèle à l'axe principal, dont le prolongement perce en V' le second plan principal de la lentille M_1, et qui est réfracté suivant V'b'. — DE est l'image de SO regardé à travers la surface M_0; D'E' est l'image de SO regardé à travers la lentille M_1. Ces deux images de SO sont droites et de même grandeur. Les plans perpendiculaires à l'axe principal menés par DE, D'E' sont donc les *plans principaux* du système, et les points E, E', images du point O, sont ses *points principaux*.

Soit, en effet, SI (fig. 312) un rayon incident parallèle à l'axe principal, dont le prolongement perce en D' le second plan principal E' du système; ce point D' appartient nécessairement à la direction du rayon émergent. Soit, en outre, a' le second foyer principal de la première surface M_0 de l'appareil.

La première surface M_0 réfracte SI suivant Ia', qui perce en C le premier plan principal N de la lentille M_1; le point C' appartient donc aussi à la direction du rayon émergent correspondant au rayon incident SI. Le rayon émergent D'C'R, ainsi déterminé, coupe l'axe principal au point F', qui est nécessairement le *second foyer principal* du système dont E'F' est la *seconde distance focale*.

Pour déterminer cette seconde distance focale E'F' = φ' nous avons les deux couples de triangles semblables a'IA, a'CN, et F'D'E', F'C'N'.

En tenant compte des relations IA = D'E', CN = C'N', et $N'E'=\frac{e\psi}{f'_0+\psi-e}$, on obtient facilement :

$$\varphi'=E'F'=\frac{f'_0\psi}{f'_0+\psi-e}$$

Une construction analogue donnerait pour valeur de la *première distance focale* EF = φ du système :

$$\varphi=EF=\frac{f_0\psi}{f'_0+\psi-e}$$

Digitized by Google

Les positions sur l'axe principal des deux foyers principaux F, F′ du système et les valeurs de ces deux distances focales $EF=\varphi$, $E'F'=\varphi'$ sont ainsi complétement déterminées, et nous avons :

$$\frac{\varphi'}{\varphi}=\frac{f'_0}{f_0}=n_1$$

Dans ce cas donc, comme toujours, le rapport de la seconde à la première distance focale est égal au rapport de l'indice de réfraction du milieu dans lequel se meut la lumière émergente à l'indice du milieu dans lequel se meut la lumière incidente.

128. *Points nodaux.* — En suivant la marche adoptée (115), (116) et (117), on démontrerait que les points K,K′ de l'axe principal (fig. 313) déterminés par les relations $KF=E'F'=\varphi'$ $K'F'=EF=\varphi$ sont le *premier* et le *second point nodal* du système.

129. L'action de ce système dioptrique sur la lumière est donc la même que celle d'une lentille dont les éléments fondamentaux sont déterminés par les relations suivantes :

1° Pour les deux points principaux E, E′ :

$$(3)\quad \begin{cases} AE=\dfrac{ef_0}{f'_0+\psi-e} \\ N'E'=\dfrac{e\psi}{f'_0+\psi-e} \end{cases}$$

2° Pour la valeur des deux distances focales EF, E′F′ :

$$(4)\quad \begin{cases} \varphi=EF=\dfrac{f_0\psi}{f'_0+\psi-e} \\ \varphi'=E'F'=\dfrac{f'_0\psi}{f'_0+\psi-e} \end{cases}$$

D'où l'on tire pour le rapport de la seconde à la première distance focale :

$$\frac{\varphi'}{\varphi}=\frac{f'_0}{f_0}=n_1$$

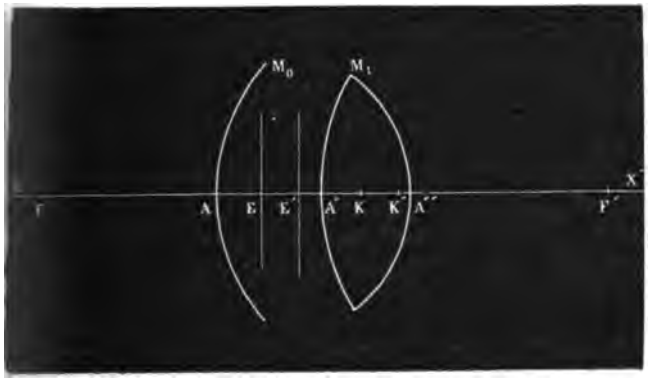


Fig. 313.

3° Pour les deux points nodaux K, K′ :

$$(5)\quad \begin{cases} KF=E'F'=\varphi' \\ K'F'=EF=\varphi \end{cases}$$

130. En reprenant les constructions et les raisonnements développés (119), (120), (121) et 122), on démontrerait sans peine que, dans ce système dioptrique :

1° Les plans focaux ont les mêmes propriétés que ceux d'une lentille simple;

2° Les foyers conjugués et les rapports de position et de grandeur d'un objet et de son image sont déterminés par les formules des lentilles simples.

131. *Simplification.*— D'après ce que nous avons dit (123) des propriétés des plans principaux, on peut (fig. 313) supprimer la surface M_0 et la lentille M_1, et remplacer le système réfringent par une simple surface sphérique, dont le sommet serait au premier point principal E, et le centre de courbure au premier point nodal K; cette surface sphérique serait ainsi placée entre l'air, qui est le premier milieu transparent, et le dernier milieu transparent d'indice n_1. Les rayons transmis par cette surface sphérique sont parallèles à ceux qu'aurait transmis le système lui-même, et pour déterminer la position réelle des rayons transmis par le système dioptrique il suffit de transporter parallèlement à eux-mêmes et d'une distance comptée sur l'axe principal, égale à la distance EE′ des deux points principaux, les rayons transmis par la surface sphérique de rayon KE.

GAVARRET.

FIN DU COURS.

MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE

ANATOMIE COMPARÉE

LEÇON DE M. GEORGES POUCHET (1).

Des rapports du grand sympathique avec le système capillaire.

Messieurs,

M. le professeur Serres vous a entretenus dans la dernière leçon des rapports physiologiques que la science moderne a découverts entre le grand sympathique et le système des vaisseaux capillaires. C'est la condition anatomique de ces rapports que je me propose d'exposer devant vous.

Rappelons-nous d'abord qu'il existe entre les nerfs émanés du grand sympathique et les troncs artériels une relation en quelque sorte palpable, tangible, et qui a pu être reconnue de tout temps. Sur cette artère splénique du grand fourmilier, que je mets devant vos yeux, vous pouvez voir un très-bel exemple de cet enlacement des filets nerveux du grand sympathique autour des troncs artériels.

Mais une difficulté se présente ici. Ces filets nerveux sont-ils destinés aux parois et aux ramifications du vaisseau qu'ils enlacent; ou vont-ils se distribuer simplement au tissu de l'organe où se rend l'artère elle-même? La vieille expérience de Pourfour du Petit (1722) semblait prouver que les filets du grand sympathique sont destinés aux tissus des organes : il avait vu l'œil se modifier après la section du grand sympathique au cou. M. Cl. Bernard de son côté, reprenant l'expérience de son devancier, montra qu'en même temps

(1) M. le professeur Serres a joint cette année à son cours, pour la première fois, un certain nombre de leçons théoriques et pratiques d'anatomie microscopique destinées à compléter l'étude comparative des appareils organiques dont il a fait l'histoire. Il a chargé de cet enseignement nouveau au Jardin des plantes et appuyé de nombreuses préparations microscopiques, son aide-naturaliste M. Georges Pouchet. C'est une de ses leçons que nous reproduisons.

Digitized by Google

cette section avait une influence directe sur le diamètre des petits vaisseaux dans le côté correspondant de la tête. Enfin les expériences toutes récentes de M. Legros sur les modifications que subissent les caroncules du dindon après qu'on a fait subir la même opération à cet animal, sont encore venues démontrer que les vaisseaux, aussi bien que les tissus propres à certains organes, étaient en relation physiologique avec le nerf grand sympathique.

Il n'est pas toutefois rigoureusement exact de dire que les filets moteurs du grand sympathique se distribuent à tel ou tel organe, à tel ou tel vaisseau. Ce qui est plutôt vrai, c'est qu'ils vont partout animer les muscles de la vie organique où il s'en trouve; et si un certain nombre de ces filets moteurs se distribuent aux parois des vaisseaux, c'est que ces parois sont musculaires.

Le sujet est donc complexe : nous avons à étudier à la fois la paroi même des vaisseaux les plus fins (les seuls dont nous nous occuperons), leurs muscles, et les nerfs qui commandent à ces muscles.

Tous les muscles de la vie organique, — excepté le cœur seul, — ont une constitution anatomique identique qui leur est propre et qui n'appartient qu'à eux. Ils sont formés essentiellement par un élément anatomique spécial qui a reçu le nom de *fibre-cellule*.

Les fibres-cellules sont de petits corps fusiformes, allongés; leurs dimensions, quoique microscopiques, varient dans des limites considérables. En moyenne elles ont généralement $0^{mm},005$ à $0^{mm},008$ de large; et $0^{mm},045$ à $0^{mm},090$ de long. Leur grand diamètre peut même dans certain cas atteindre $0^{mm},500$ et plus.

Les fibres-cellules sont trop petites pour que nous puissions apprécier individuellement leur couleur : nous n'en pouvons juger que là où elles sont réunies en grand nombre pour former un organe d'une certaine épaisseur. Nous les voyons alors grisâtres et pâles comme dans les parois de l'intestin et de la vessie. D'autres fois elles sont rougeâtres comme dans l'utérus gravide des mammifères et dans le gésier des oiseaux.

Les fibres-cellules sont douées de *contractilité* : cette propriété d'ordre organique est la condition même de leur rôle spécial dans l'économie : un élément anatomique contractile est un élément susceptible, sous certaines influences, de se raccourcir suivant un de ses diamètres, pendant qu'il s'allonge suivant un autre. La contractilité des fibres-cellules, comme leur coloration, serait très-difficile à observer sur un élément isolé pendant que nous la voyons se traduire par les effets les plus marqués dans les organes où elles sont réunies en grand nombre. La vessie pour se vider se contracte, c'est-à-dire que chaque fibre-cellule de ses parois diminue de longueur suivant son grand axe, et que les deux extrémités de l'élément se rapprochent pendant qu'il augmente de diamètre transversal. Le résultat de cette action commune de millions de fibres-cellules est en définitive de réduire à rien la cavité de l'organe dont les parois sont seulement devenues plus épaisses.

Quand on examine chez l'homme et chez les animaux supérieurs les organes formés de fibres-cellules, comme l'utérus, la vessie, l'iris, l'estomac, l'intestin, les muscles des plumes, on reconnaît aussitôt dans les mouvements de ces différents organes un caractère particulier. Ces mouvements se manifestent et se propagent toujours avec une lenteur mesurée. Qu'on ouvre l'abdomen d'un chien encore en vie, ou sacrifié depuis quelques instants : on voit aussitôt se produire dans l'intestin des contractions qui s'étendent de proche en proche uniformément, et que les physiologistes ont même appelées pour cette raison « mouvements vermiculaires ». — Les excitants indirects tels que le froid, l'électricité, appliqués sur les muscles à fibres-cellules, produisent un effet identique, tout différent de celui qu'ils provoquent dans les muscles de la vie de relation et dans le cœur. Dans ces derniers muscles, dits *à faisceaux striés*, tout mouvement auquel ne préside pas la volonté, tout mouvement provoqué par une excitation chimique ou physique est toujours subit, rapide, vif, aussitôt commencé, aussitôt accompli. C'est le caractère propre des muscles de la vie de relation; de même que le caractère propre des muscles de la vie organique — excepté le cœur — est de se contracter lentement, comme le canal digestif, l'utérus, l'iris, les muscles qui dressent les plumes des oiseaux, etc...

Mais on se ferait une idée très-imparfaite et très-incomplète de la diffusion des fibres-cellules dans l'économie, si on ne considérait que les organes formés entièrement de cet élément. Elles sont de plus répandues dans une foule de parties du corps, et il peut même arriver que le résultat de leur action se traduise au dehors par des effets capables de frapper le regard du moins attentif, pendant que les agents eux-mêmes de cette action échappent presque à l'œil de l'anatomiste. Nous devons insister sur ces mouvements qui sont le plus souvent les congénères des modifications vasculaires dont nous recherchons en ce moment la condition anatomique.

La gaîne de chaque poil, par exemple, est entourée d'un certain nombre de fibres-cellules. Que le froid agisse sur la peau, ces fibres-cellules se contractent et tendent à faire saillir le poil de sa gaîne. Celui-ci, en se soulevant, entraîne l'épiderme auquel il adhère, et la peau se hérisse de ces petites éminences qui constituent la *chair de poule*. Chacun sait que certaines émotions même purement morales peuvent produire le même effet. — Cette sensation particulière que l'enthousiasme ou l'effroi font passer dans la chevelure n'a pas d'autre origine. Si les cheveux ne se *dressent pas*, du moins est-il certain que sous certaines influences morales, leurs racines sont un peu déplacées par cette force musculaire dont nous connaissons maintenant l'agent. De là ce que nous ressentons. — C'est encore aux fibres-cellules contenues dans la peau, à leur état de contraction plus ou moins grand que la physionomie doit ces changements journaliers si marqués surtout chez la femme à un certain âge. Le même visage, frais, jeune, harmonieux au jour, est le lendemain vieilli, creusé de rides, *tiré* comme on dit; et il se trouve que c'est l'expression juste. Ce sont des milliers de fibres-cellules qui, contractées à la fois, produisent ce changement. — Les médecins connaissent depuis Hippocrate un état particulier de la physionomie dans certaines maladies, on l'appelle *facies hippocratique*. C'est toujours un symptôme grave, il précède souvent la mort. Le nez se pince, *s'effile* comme on dit. Dans chaque trait se peint une crispation et une raideur douloureuses. Cet ensemble de symptômes est uniquement dû à la contraction pathologique des fibres-cellules de la peau du visage amenées par la maladie à leur maximum de raccourcissement.

Enfin, messieurs, chez tous les vertébrés, on trouve encore des fibres-cellules en abondance sur les parois des vaisseaux et nous allons les voir sur les capillaires de la face, ajouter à

Digitized by Google

l'harmonie des traits de l'homme blanc, l'expression si mobile et si vivante de la couleur.

Entre le système artériel qui distribue le sang aux organes, et le système veineux qui le ramène des organes, existe un troisième système anatomique intermédiaire, c'est celui des vaisseaux capillaires.

Distincts anatomiquement des veines et des artères par la constitution de leurs parois, les capillaires offrent eux-mêmes des vaisseaux de plusieurs ordres.

Les uns, les plus fins, forment le réseau extrême où le sang circule lentement et échange avec le milieu qu'il traverse les principes dont il est chargé. Ce réseau, siége de la nutrition et de la chaleur animale, offre suivant les animaux, les tissus, les organes, mille combinaisons différentes et mille variétés d'aspects qui en font une des études les plus attrayantes de l'anatomie générale, en même temps qu'une des plus importantes.

Ce réseau est partout formé simplement de tubes minces, transparents, solides, variables de diamètre suivant la dimension des globules du sang qu'ils doivent laisser passer un à un; variables de disposition suivant les organes et les tissus; mais toujours uniquement constitués par une mince paroi propre dans l'épaisseur de laquelle se voient quelques noyaux ovoïdes à grand axe situé parallèlement à l'axe du vaisseau. Ce sont les capillaires de la *première variété*.

Quand, partant de ces capillaires, on se dirige soit du côté que vient le sang, soit du côté qu'il s'éloigne, on les voit se transformer peu à peu, mais d'une manière identique du côté des artères et du côté des veines, formant ainsi un nouvel ordre de vaisseaux distincts par leur constitution propre à la fois des capillaires de la première variété, des veines et des artères. Ce sont les capillaires de la *seconde variété*.

Ces capillaires sont formés de la même paroi propre que ceux de la première variété avec ses noyaux; seulement autour de cette paroi on distingue une couche musculaire puissante si on la compare au calibre du vaisseau sur lequel elle agit. Cette couche est formée de fibres-cellules trop courte pour embrasser la circonférence totale du vaisseau et qu'on pourrait comparer à des bagues brisées, passées à un doigt trop gros. Toutes ces fibres-cellules, enchevêtrées par leurs extrémités gardent une disposition partout circulaire, et présentent partout le même enroulement parfait autour du vaisseau. Cette couche musculaire peut être plus ou moins épaisse suivant les organes et les régions du corps. Elle est très-développée sur les vaisseaux du cerveau et sur ceux de la peau du visage.

Nous voici donc en face d'une force musculaire directement appliquée sur les ramifications dernières de l'arbre artériel aussi bien que sur les premières radicules de l'arbre veineux: force énergique assurément, comme le montre le nombre d'éléments qui la mettent en jeu, et immédiatement susceptible de modifier le diamètre des vaisseaux où elle s'applique.

Les fibres-cellules qui entourent un vaisseau entrent-elles en contraction, la lumière du vaisseau va diminuer — lentement — au point que le sang n'y pourra plus à peine pénétrer. Ce sera la *pâleur* si c'est aux capillaires du visage que ce phénomène entièrement musculaire s'est produit. Les fibres-cellules reviennent-elles à cet état moyen de contraction qui paraît être la condition d'une circulation régulière et harmonieuse, le sang reprend son cours. Et si l'on suppose que cette force vienne un moment à être paralysée, ce qui est toujours possible : aussitôt la paroi du vaisseau, n'étant plus soutenue, se dilatera outre mesure sous la pression du sang. Et cet état invisible sur chaque capillaire en particulier se traduira à nos yeux par une *rougeur* générale de l'organe ainsi congestionné.

Il restait, messieurs, à trouver les nerfs qui régissent ces muscles des capillaires de la deuxième variété. Le mérite de les avoir découverts revient à M. Ordoñez auquel l'anatomie microscopique doit déjà plusieurs travaux d'une extrême délicatesse. M. Ordoñez n'a point encore publié ses recherches. Il a bien voulu toutefois nous communiquer ses belles préparations. Voici ce qu'il est facile d'y voir :

Sur les parois musculaires des capillaires de la seconde variété, on trouve des éléments nerveux, quelquefois au nombre de deux ou trois, courant sur le vaisseau. Ce sont de minces filaments qui n'ont pas plus de $0^{mm},001$ de diamètre. Ils sont un peu renflés par places et on peut les voir se relier à de petites cellules nerveuses munies elles-mêmes d'un ou deux prolongements du même ordre.

Ces filets nerveux ne sont ni des tubes nerveux proprement dits, ni même des *fibres de Remak*, l'élément nerveux des cordons gris du grand sympathique. Il est cependant infiniment probable que ces minces filets sont les expansions terminales des fibres de Remak, quoiqu'elles n'en aient plus les caractères. On peut retrouver sur d'autres points de l'économie des terminaisons nerveuses très-semblables à celles-ci. C'est en particulier dans la rétine, à l'expansion et à la terminaison du nerf optique qu'on voit en abondance des filets pareils à renflements fusiformes comme les filets nerveux des capillaires, et reliés de même à de petites cellules nerveuses.

Et maintenant si nous revenons à l'observation de M. Cl. Bernard sur les animaux auxquels on a coupé le grand sympathique au cou, nous avons non pas l'explication première — nous ne l'avons pour rien — mais du moins l'explication anatomique immédiate de ces phénomènes de congestion et de chaleur qu'a signalés le célèbre physiologiste. Il arrive que les muscles des capillaires du côté correspondant de la tête, soustraits à l'influence du grand sympathique, se trouvent paralysés. Les capillaires se dilatent, la peau rougit, en même temps que le sang, circulant beaucoup plus vite, y provoque un excès de température, parce qu'il apporte immédiatement à celle-ci par son cours rapide la température plus élevée des parties profondes.

La rougeur qui couvre le visage sous l'empire de certains sentiments et de certaines émotions, est donc, elle aussi, une paralysie momentanée des muscles des capillaires de la face; de même que la pâleur en est la contraction exagérée. Celle-ci se combine d'ordinaire dans la mort avec cette autre contraction dont nous avons déjà parlé, et qui a pour siége tous les petits muscles organiques de la peau du visage. C'est le même phénomène s'étendant aux mêmes éléments anatomiques dans deux appareils distincts, la peau et les parois vasculaires.

Notons que la rougeur et la pâleur montent toujours au visage avec la lente progression propre aux mouvements des fibres-cellules.

Nous avons du même coup la raison anatomique immédiate de tout un ordre de faits pathologiques, tels que ces différences de température extrêmement marquées qu'on observe parfois d'une moitié du corps à l'autre; tels que ces abaissements et ces élévations de température qu'on observe aussi

Digitized by Google

dans certaines névralgies et dans diverses altérations des centres nerveux.

En considérant cette motilité propre aux capillaires de toutes les régions du corps, quand on se rappelle en outre que les capillaires sont le siége des échanges moléculaires qui constituent la nutrition, il semble qu'on soit tout naturellement conduit à rapprocher ces deux grandes fonctions. Si la physiologie n'a pas tout à fait suivi cette voie, du moins elle nous a déjà montré le rôle direct de la couche musculaire des vaisseaux sur la sécrétion des glandes, qui est un côté de la nutrition.

C'est encore une expérience du célèbre professeur du Collége de France qu'il nous faut citer : M. Cl. Bernard met à nu la glande salivaire sous-maxillaire d'un chien, l'artère qui s'y rend, la veine qui en sort, et les différents nerfs par lesquels l'organe est en communication avec le système nerveux cérébro-spinal d'une part, et d'autre part avec le système nerveux sympathique. Nous n'avons point à rechercher le rôle spécial de chacun de ces nerfs, c'est un sujet qui ressort uniquement du domaine de la physiologie. Mais nous constatons ceci : suivant que la glande subit l'influence prépondérante de l'un ou de l'autre de ces nerfs, les fins vaisseaux de l'organe sont profondément modifiés ; ils se resserrent ou ils se dilatent. Resserrés, ils laissent le sang traverser à peine la glande, d'où il sort noir, lentement : la salive ne coule point au dehors. Dilatés, le sang abonde dans l'organe et avec lui tous les matériaux de la sécrétion locale : la salive coule à gouttes ; et la traversée du sang est si rapide, si aisée, que les pulsations artérielles se propagent dans les ramifications vasculaires de l'organe et se font sentir jusque sur la veine, au delà.

Voici donc, messieurs, une sécrétion directement reliée à ce fait brut du calibre des vaisseaux de la glande, calibre variable suivant l'état de contraction de la couche musculaire qui enveloppe ces vaisseaux. Sans aucun doute ce n'est là qu'un des côtés du rôle que jouent les muscles organiques des capillaires dans le grand ensemble de la nutrition. Mais il suffit à bien accentuer quel pas immense ont fait depuis ces dernières années la physiologie et l'anatomie microscopique combinées, dans l'étude des phénomènes de la vie : les sécrétions, les changements de physionomie, la chaleur des parties non pas expliquées — la vie ne s'explique pas — mais rapportées à un phénomène antécédent commun qui en est la condition immédiate.

Et si vous voulez mieux vous rendre compte du progrès accompli dans cette voie depuis un demi-siècle, relisez cette explication que Bichat donne sans sourciller de ces différences de chaleur entre un membre et un autre, que nous avons signalées dans certains cas de névralgie et qui avaient vivement frappé son attention :

« Comment tout cela arrive-t-il ? dit Bichat (*Anatomie générale*, p. 132), le voici : l'organe affecté agit sympathiquement sur les forces toniques de la partie ; celles-ci en » s'exaltant font qu'il s'y dégage plus de calorique que de » coutume : c'est exactement comme dans la sécrétion ou les » exhalations sympathiques. Que les forces vitales s'exaltent » par un stimulus directement appliqué, ou par l'influence » sympathique qu'elles reçoivent dans une partie, c'est absolument la même chose pour l'effet qui en résulte. »

Cette explication est absolument incompréhensible aujourd'hui ; elle nous fait sourire. C'est qu'en effet, quand on lit l'*Anatomie générale*, ce livre admirable où Bichat a édifié de toutes pièces une science qui n'existait pas encore, il semble qu'il y ait eu en lui deux hommes. L'un appartient à la médecine doctrinale et explicative du siècle qui finit ; l'autre est le grand initiateur ouvrant au siècle qui va commencer, une ère nouvelle et féconde dans les sciences de la vie. Je m'en voudrais, messieurs, de vous laisser sous l'impression du passage que je viens de vous lire. Nous n'avons qu'à tourner quelques pages dans le même volume, voici ce que nous y trouvons : « Je ne saurais trop le répéter » — vous voyez que Bichat parle ici d'une conviction profonde et réfléchie — « je ne saurais trop le répéter, dit-il, le rapport » constant des artères avec le système nerveux des ganglions » mérite l'attention des physiologistes, parce qu'il est trop » général pour ne pas tenir à quelque grand but des fonctions » de l'économie, quoique ce but soit ignoré (p. 302). » C'est ainsi que Bichat annonçait, il y a cinquante ans, ce qui n'est prouvé que d'hier. C'est par ces instincts de génie que Bichat appartient tout entier à l'avenir.

GEORGES POUCHET.

BULLETIN DES COURS.

Institution royale de la Grande-Bretagne.

LECTURES DU VENDREDI SOIR (CONFÉRENCES SCIENTIFIQUES).

— Seconde série. —

M. le professeur DU BOIS-REYMOND (de Berlin). — Sur le temps nécessaire pour la transmission de la volonté et de la sensation à travers les nerfs.

M. le professeur ABEL, F. R. S. — Découvertes récentes de substances employées pour remplacer la poudre à canon.

M. le professeur ANSTED, F. R. S. — Sur les volcans de boue de la Crimée ; rapports de ces phénomènes avec les dépôts de pétrole.

M. le Rév. C. PRITCHARD, F. R. S., président de la Société d'astronomie. — Sur le télescope, sa forme moderne et les difficultés de sa construction.

M. ALEXANDER HERSCHEL. — Sur les étoiles filantes en 1865-1866, et sur la probabilité de leur origine cosmique.

M. le professeur ROSCOE, F. R. S. — Sur l'opalescence de l'atmosphère.

M. le professeur FRANKLAND, F. R. S. — Sur la source du pouvoir musculaire.

M. le professeur TYNDALL, F. R. S. — Expériences sur les vibrations des cordes.

Ces conférences paraîtront *in extenso* dans la *Revue des cours scientifiques*.

COURS SCIENTIFIQUES (SEMESTRE D'ÉTÉ).

M. le professeur FRANKLAND, F. R. S. — Sur les métalloïdes (quatre leçons).

M. le professeur DU BOIS-REYMOND (de Berlin). — Sur la contraction musculaire (trois leçons).

M. le professeur HUXLEY, F. R. S. — Sur l'ethnologie (douze leçons).

M. le professeur ANSTED, F. R. S. — Sur les applications de la géographie et de la géologie aux beaux-arts (cinq leçons).

Dans les habitudes anglaises, les lettres F. R. S. (*Fellow Royal Society*) s'ajoutent toujours au nom des membres de la Société Royale de Londres, qui est, au delà de la Manche, l'équivalent de notre Académie des sciences.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE — NUMÉRO 44 — 29 SEPTEMBRE 1866

SOCIÉTÉ MÉDICALE DU MASSACHUSETTS.

(États-Unis de l'Amérique du Nord.)

DISCOURS DE M. LE DOCTEUR B. E. COTTING.

La maladie considérée comme faisant partie du plan de la création.

Messieurs,

Il faut toujours en revenir à cette triste vérité exprimée par Sydenham et rappelée par un élégant écrivain français : la médecine est la plus noble des professions et le plus triste des métiers (*Gaz. méd.*, 1851, p. 448). C'est pour la sauver de l'abaissement et l'élever au rang qu'elle mérite, comme l'une des plus nobles vocations humaines, que ses adeptes les plus dévoués ont travaillé jusqu'à présent avec une constante énergie.

Comprendre la maladie et la guérir, telles sont les louables aspirations du médecin. Atteindre le premier but est difficile, le second, souvent impossible. Malgré les progrès de l'art, la maladie s'est montrée de tout temps rebelle chez bon nombre de malades et enlève prématurément la plus grande partie des populations. Les effets en sont si souvent incertains et la terminaison fatale, que la plus simple atteinte peut devenir une source d'anxiétés et d'alarmes. Le jeu constant des sympathies organiques oblige le praticien le plus expérimenté à agir souvent aveuglément et empiriquement, par l'emploi de moyens hétérogènes ayant usurpé le nom de remèdes, dans l'espoir qu'il s'en trouvera un pour soulager ou guérir le patient. Les médecins les plus éminentss ont ainsi amenés, insensiblement et presque inévitablement, à oublier le principal but de leur mission, en approuvant l'administration de ces remèdes dont l'usage est sanctionné par l'habitude ou un préjugé dominant, et auquel on donne à tort le nom de méthode de traitement. Cette pratique est si profondément enracinée dans les habitudes professionnelles et passée à l'état de routine, que la simple proposition de vues plus scientifiques et rationnelles court risque d'être taxée d'hérésie, dès qu'elle s'écarte des préjugés populaires et des habitudes journalières. De là l'utilité des efforts de chaque génération pour rétablir les principes méconnus et arrêter les tendances empiriques, industrielles et dégradantes de l'art. C'est alors que les hommes véritablement convaincus et sincères sont appelés en avant et doivent se placer au premier rang pour soutenir le choc de la bataille.

De grands progrès ont été faits de nos jours vers la vérité médicale, et les membres de cette Société savent parfaitement que la plus grande victoire de ce siècle a été gagnée ici même, il y a juste trente ans (*Expos. of rationnal medicine*). Établis sur des bases inébranlables, ces progrès se répandront universellement et deviendront indestructibles. Désormais, partout où le dialecte anglais sera parlé ou lu, notre profession admettra la doctrine de la *self-limitation* telle qu'elle a a été définie ici par le docteur J. Bigelow dans son discours annuel de 1835; c'est-à-dire des maladies se limitant d'elles-mêmes sans aucune influence médicamenteuse, et qui, une fois établies au sein de l'organisme, ne peuvent être ni guéries ni améliorées par l'art dans l'état actuel de nos connaissances, mais qui doivent parcourir leurs périodes, variables suivant la constitution et l'état du malade, soit qu'elles tendent vers la guérison ou la mort. Jusqu'à ce que des progrès ultérieurs autorisent une autre explication, celle-ci nous servira de règle.

A cette question posée journellement au chevet du malade : « qui a péché de lui ou de ses parents » ? la réponse est presque toujours la même; c'est d'imputer la maladie à une faute personnelle, à une prédisposition héréditaire, ou bien encore à la désobéissance d'Adam qui, en mangeant le fruit défendu, a introduit la mort dans le monde et causé tous nos malheurs.

Montrer combien cette question est fallacieuse et comment la réponse originelle de Jésus-Christ même est seule vraisemblable (1); faire comprendre que la maladie n'est pas un simple accident dans l'histoire de la race humaine, ni le résultat d'un défaut de résistance organique, mais qu'elle fait partie du plan de la création, comme une des innombrables expressions de la pensée divine, tel sera l'objet de ce discours.

La géologie moderne a découvert plusieurs merveilles du passé. Elle nous a montré d'une manière évidente l'existence d'êtres organisés sur la terre bien longtemps avant celle de l'homme. Ces animaux naissaient, croissaient et disparaissaient alors comme maintenant, et comme maintenant aussi chacun avait une existence limitée, se terminant par la mort. Comme maintenant, la plupart des espèces ne vivaient que par la destruction des autres et, dans ce dessein, étaient pourvues d'organes propres à saisir, déchirer et dévorer leur proie; quelques-uns même, sortes de bourreaux de cette période, suivant Agassiz, semblent avoir été armés non-seulement pour détruire, mais pour torturer leurs victimes. En compensation, les animaux attaqués avaient des moyens de défense, les faibles, des moyens de fuite. Les luttes d'aujourd'hui ont donc évidemment existé dans les premières périodes de l'histoire du monde. Il y eut avant l'homme des mammifères voraces,

(1) Jésus répondit : « Ce n'est point qu'il ait péché, ni son père, ni sa mère; mais c'est afin que les œuvres de Dieu soient manifestées en lui. (*Jean*, ch. IX, v. 3.)

Digitized by Google

avant eux des reptiles voraces et avant ceux-ci des poissons voraces.

On a même acquis une parfaite connaissance de la structure et des fonctions organiques de ces animaux fossiles. Des restes à demi digérés, d'autres animaux trouvés dans leur corps, ont décélé avec certitude non-seulement la nature de leur alimentation, mais le volume et la structure de leurs organes digestifs mêmes, leur surface vasculaire et la membrane muqueuse qui les recouvre ont été rendus évidents par des traces non équivoques laissées sur la surface de leur contenu (Buckland, *Bride-water treatise*). D'après toutes les apparences de ces débris fossiles, on est forcé de convenir que ces mammifères ont été sujets aux désordres fonctionnels des organes abdominaux qui affectent aujourd'hui les animaux de structure analogue.

Les preuves de la disposition aux maladies organiques de ces animaux antédiluviens sont aussi complètes et irrécusables. Des tumeurs volumineuses résultant de l'inflammation des os, des cavités et des excroissances résultant d'abcès, ont été découvertes; les exemples de carie et de nécrose ne sont pas rares, et des affections scrofuleuses ont aussi été signalées; des ankyloses ont été observées et des réunions d'os fracturés avec exostose au point de jonction ont été figurés et décrits. Bien plus, il y a des exemples évidents de guérison de déchirures très-étendues avec lésions osseuses faites par les griffes d'autres animaux, démontrant que les blessés doivent avoir survécu assez longtemps ensuite pour permettre la réparation de grandes pertes de substance et une cicatrisation complète.

Tous ces cas s'expliquent par l'action nécessairement nuisible des causes physiques comme la foudre, la gelée, le tonnerre, les tempêtes, les poisons naturels, etc., etc., qui ont existé de tout temps.

Il est donc évident que depuis le commencement du monde —en employant ce mot dans sa plus large acception géologique et non simplement dans le sens étroit de commencement de l'existence humaine, — la vie a été exposée, comme maintenant, aux dangers, aux accidents et aux maladies, et que de tout temps aussi on a eu les mêmes moyens de les éviter et de les guérir.

D'où cette rigoureuse conclusion : si l'existence et la structure particulière de ces animaux démontrent l'existence d'un Créateur généralement reconnu tout-puissant et admirable, il faut admettre également que leurs maladies et les guérisons constatées, n'étant pas produites par l'art, doivent être considérées comme l'effet d'une intervention divine. Autrement, il faut se ranger à l'opinion de ces philosophes pour qui l'idée d'un Créateur est une conception fétichiste indigne d'hommes instruits et d'une époque de civilisation, et qui trouvent une explication facile de tous les phénomènes de la création dans la persistance des forces spontanément produites et agissant sur la matière. Suivant cette théorie, tous les maux sont accidentels et doivent disparaître dans l'avenir; mais, jusqu'à ce que cet heureux temps vienne, qu'il nous soit permis de garder nos convictions.

Les animaux actuels, que l'espèce en remonte aux premiers âges ou ait été introduite plus récemment, sont également sujets aux maladies et aux infirmités corporelles. Quoiqu'ils s'entredétruisent les uns les autres, il est probable que le nombre ainsi enlevé est bien inférieur à celui que font périr les épizooties. Aussitôt atteints par le mal, ils se retirent presque tous un à un et en silence dans quelque tannière abritée et isolée, où ils attendent la guérison ou la mort. Si la santé revient, ils s'exposent progressivement à la chaleur du jour, et plus d'un chasseur maladroit, qui se réjouit d'une capture, la doit moins à son habileté qu'à la faiblesse de la victime convalescente.

Ces cas, ordinairement isolés, passent le plus souvent aussi inaperçus que la chute d'une feuille. Lorsqu'une épidémie éclate et fait d'affreux ravages, elle coïncide presque toujours avec des maladies d'origine mystérieuse qui sévissent sur les animaux et exterminent des tribus entières.

Comme les bêtes féroces, les animaux domestiques sont atteints en vertu de lois à peu près entièrement inconnues. Ils succombent tour à tour; et d'abord il n'y a que leurs propriétaires ou leurs gardiens à s'en apercevoir; mais bientôt l'étable est infectée, tout espoir est perdu, l'alarme se répand, tout le pays est averti, et, dans son ignorance et sa terreur, il sacrifie la vie de son bétail sans merci, et son trésor sans discrétion.

Il serait bon que les sociétés en général, et les médecins en particulier, donnassent plus d'attention à ces sujets; car, ainsi que l'a dit l'éminent docteur Forbes, il y a des raisons de croire que la pathologie humaine serait grandement éclairée par la médecine comparée.

Cette expérience constante de la maladie acquise sur les animaux qui n'ont aucune action pour la produire et sont uniquement soumis aux conditions à eux imposées, montre qu'elle a existé depuis les premiers signes de l'existence organique et s'est continuée jusqu'à présent sans interruption. Ce n'est donc pas à cause du péché du premier homme, mais par la volonté du Créateur que cet ensemble de maladies a été conçu et établi; l'évidente justesse de ce point de vue, encore obscure au début, est rendue de plus en plus manifeste dans les diverses phases de la création.

Quant à la race humaine, quelle qu'ait été sa condition première, elle a toujours été assujettie au même plan depuis son origine. Dans aucun temps l'homme n'a été exempt des atteintes de la maladie pendant toute la durée de sa vie, depuis l'enfance sujette aux exanthèmes jusqu'à la vieillesse qui s'endort dans l'insensibilité. Chaque organe a ses maladies particulières, chaque organisme ses propres affections. Pas de prévoyance ni de sagesse humaine pouvant avec certitude en éviter ou en repousser les atteintes. Vérité si bien reconnue, que l'adulte ayant éprouvé les éruptions de l'enfance est regardé par les médecins comme ayant une santé plus durable et mieux assurée que celui qui en est exempt.

Des théories nombreuses ont été imaginées pour montrer comment des maladies peuvent être évitées; mais il n'y a pas encore d'exemple qu'une seule maladie ait disparu du globe par le pouvoir de l'homme. Réfugiez-vous sur les montagnes ou dans les plus basses vallées, à n'importe quel âge, pour vous défendre de leurs attaques, vos essais seront toujours vains. Nous ne connaissons même pas les causes secondaires des maladies, qu'elles soient atmosphériques, miasmatiques ou épidémiques. Elles ont existé de tout temps, et l'on peut maintenant prédire qu'elles persisteront dans l'avenir et ne cesseront qu'au terme fixé. Les causes, les progrès et l'étendue des maladies des divers âges sont si peu connus par l'investigation usuelle qu'il est moins au pouvoir de l'homme de les déterminer, que de guider le vent qui ne souffle qu'à son gré; — *that bloweth where it listeth.* — Bien que ces causes soient soumises selon toute probabilité à une loi quelconque,

Digitized by Google

trop subtile pour être saisie encore, nous sommes tous, en général, incapables de prédire avec certitude les progrès que peut faire une seule de ces maladies du jour au lendemain. L'apparition d'une épidémie confond souvent toutes nos connaissances des lois hygiéniques aussi bien que les notions préconçues de sa nature ou de son traitement. Nous ne pouvons dire pourquoi elle est venue, ni quand elle cessera, ni si elle reviendra dans de semblables circonstances.

Elle sévit souvent, sans raison apparente, en des lieux réputés les plus salubres, envahit les quartiers les mieux assainis et épargne les plus malsains, atteint le riche comme le pauvre, renverse les théories du savant et les prédictions du sage. On proclame de tous côtés des moyens préventifs; mais à peine l'annonce en est-elle faite que l'inefficacité en est reconnue. Incapables d'arrêter le cours des astres ni du temps, nous ne pouvons pas davantage contrôler l'approche ou les progrès de ces terribles fléaux qui, dans un temps marqué et un cours tracé d'avance, déciment les nations, obéissant à Celui qui domine la nuée et dirige la tempête.

Prenons un seul cas de maladie, un des exanthèmes les plus simples, par exemple, et observons l'évidence du Destin se manifestant dans la régularité de ses phénomènes et de ses modifications. En décrire tous les symptômes serait superflu; il suffit d'en faire l'histoire générale. Après une incubation de dix à quinze jours, plus ou moins, l'individu, bien qu'inconscient de son état, est aussi complétement sous l'influence de la maladie qu'à aucune autre période subséquente. Immédiatement après, la fièvre survient et parfois avec une extrême intensité; puis, en deux ou trois jours, apparaît une éruption sur la face et le cou. Le cinquième jour, elle couvre le tronc et les extrémités; le sixième, elle commence à décroître sur les parties primitivement atteintes et reste vive sur les autres. Les septième, huitième et neuvième jours, elle s'éteint et disparaît dans le même ordre qu'elle était venue, en laissant l'épiderme dans un état de desquamation. (Marshall-Hall, *Theory and practice.*)

Cette histoire de l'un des exanthèmes les plus communs est celle de tous les autres dans leur développement, leur progrès et leur terminaison. Rien ne montre avec plus d'évidence l'idée d'un plan préconçu. Dans leur invasion, l'incubation, le progrès, le summum, le déclin et la disparition, tout est aussi systématiquement arrangé et aussi étonnamment achevé que l'est la vie de toute existence, végétale ou animale, dans sa conception, son état embryonnaire, l'enfance, la puberté, l'adolescence, la virilité et la vieillesse. C'est la démonstration qu'une pensée souveraine a présidé à l'exécution du plan varié et parfait dans ses parties comme dans son tout.

Ce qui est vrai des exanthèmes l'est aussi des autres maladies plus qu'on ne pourrait le croire tout d'abord. L'incubation les précède toutes. Elle est évidente dans les cas aigus, beaucoup moins dans les affections chroniques.

Très-rarement la santé était parfaite à l'apparition du typhus, les maladies typhoïdes ou inflammatoires. Souvent, au contraire, par un examen attentif, on constate quelque malaise ou parfois une excitation anormale qui, sans cela, seraient passés inaperçus. Les maladies rebelles et ordinairement fatales sont le plus souvent précédées de perturbations organiques ressenties, sinon accusées par le malade avant leur complète manifestation. Quoi qu'il en soit, une maladie établie suit certaines lois qui lui sont particulières, comme en témoignent amplement les observations cliniques.

Ce qui est vrai des affections morbides les plus simples ne l'est-il pas autant des plus compliquées et des plus obscures : celles du sang et du système nerveux restées inexpliquées jusqu'ici par les observateurs les plus habiles? Dans la métastase, par exemple, un organe interne est gravement atteint. Tout à coup les symptômes locaux disparaissent et une partie éloignée, une extrémité parfois, devient simultanément le siége d'une sensibilité extrême et de douleurs intolérables. Aussitôt la tête se prend et le malade est en proie aux luttes épouvantables du délire. Suivant la théorie régnante, le pus ou la matière morbide développée dans l'organe primitivement atteint est charrié par les veines adjacentes jusqu'aux extrémités et consécutivement vers le cerveau. A l'autopsie, le pus trouvé dans ces diverses parties fournit la preuve de la vérité de cette hypothèse. Mais si le pus transporté par les veines dans le cœur est poussé par cet organe dans les artères aux parties secondairement atteintes, comment expliquer, dans le premier cas, que les veines dont le courant est le même et se dirige vers un centre commun puisse charrier des fluides dans un sens opposé? Comment, dans le second cas, imaginer que le pus ne s'altère pas pendant tout le trajet de la grande circulation et aille atteindre une partie éloignée sans empoisonner tout l'organisme. D'ailleurs, la formation primitive du pus est tout à fait inconcevable, et il n'est pas plus rationnel de penser que la cause morbide originelle, après une incubation suffisante pour saturer l'organisme, se révèle elle-même d'abord dans un organe interne, puis dans une extrémité et enfin dans la tête, les symptômes externes étant seulement des manifestations consécutives de la cause inexpliquée du mouvement morbide.

Le rhumatisme aigu peut encore mieux expliquer cette idée. Sa cause morbide, générale, constitutionnelle, se manifeste, de la manière la plus étonnante, à l'extrémité d'un membre, et presque immédiatement, le mal cessant dans cette partie, éclate sur un point diamétralement opposé.

Une fois fixé sur un point, il est impossible d'en hâter, ni d'en retarder la cessation, ni de dire combien il restera de temps, ni de prévoir le siége de sa nouvelle attaque. Tout nouveau cas est une nouvelle énigme. Quel plan curieux, quelle différence dans son uniformité, et quel singulier achèvement! L'intelligence la plus parfaite n'aurait jamais conçu une pareille combinaison; l'esprit humain ni l'imagination la plus subtile n'en ont jamais approché.

Mais il est inutile de multiplier les faits. A peine y a-t-il une maladie qui, étudiée à ce point de vue, ne soit un exemple d'un pouvoir suprême étonnant. Toutes les ressources de l'art seraient impuissantes à produire même une des plus simples maladies spécifiques. Le mystère de la nature des causes morbides est si grand que les intelligences les plus élevées n'ont pu en déchirer le voile.

Un grand nombre de volumes ont été écrits dans le but de l'éclaircir, mais il est encore aussi impénétrable pour nous que pour les premiers observateurs. De là la conséquence inévitable que si l'esprit humain ne peut démêler les mystères d'une maladie, ni ses phénomènes précurseurs ou consécutifs, et encore moins en trouver les causes morbides, il n'y a qu'une intelligence supérieure à celle de la créature qui ait été capable de combiner ces agents et de fonder les lois qui régissent le monde entier.

Les prédispositions de plusieurs individus à une seule maladie et celles d'un seul individu à plusieurs maladies ne sont

Digitized by Google

pas moins dignes de remarque. Quand les germes morbides sont répandus au large, plusieurs tombent sur des organismes rebelles, où ils ne poussent que pour disparaître aussitôt; — chaque gland ne produit pas un chêne. — Exposez un grand nombre de personnes à la contagion : les unes succombent immédiatement sous son influence; les autres en sont gravement atteintes; d'autres encore, peut-être le plus grand nombre, ne le seront que légèrement, et enfin quelques-unes en seront tout à fait à l'abri. Chez un grand nombre, une première atteinte est même un préservatif de toute attaque ultérieure lors même qu'ils s'y exposeraient. Peu en éprouvent une deuxième et encore moins une troisième. Cette différence de susceptibilité existe pour la plupart sinon pour toutes les maladies, ainsi que la préservation dans plusieurs, sans pouvoir en préciser le nombre. D'autres fois, une seule attaque prédispose à sa répétition. A cet égard, il semble y avoir une échelle graduée dressée avec prévoyance et observée avec intelligence. Ceci est vrai, non moins des individus que des classes entières.

Les maladies sont de même distribuées si régulièrement entre les saisons que celles-ci en ont été quelquefois considérées comme les causes. Mais la plus simple réflexion montre qu'il n'y a aucune raison essentielle ni connue pour que les maladies de la muqueuse bronchique se manifestent en hiver, ou celles de la muqueuse intestinale en été ; ni pour que la peste préfère la chaleur et la variole le froid.

L'apparition et les caractères particuliers des maladies ordinaires de chaque saison, et des plus graves épidémies dans toutes les saisons, n'ont jamais pu être expliqués d'une manière satisfaisante par les causes environnant les victimes. Après les investigations les plus minutieuses, les écrivains ont été forcés d'admettre qu'il existe une condition inconnue, une cause incomprise autre que la pauvreté, les privations, l'insalubrité et les habitations des individus attaqués. La meilleure explication à donner est celle d'un plan originel comme nous essayons de le démontrer.

D'autres témoignages du destin et d'une loi immuable ressortent aussi des tables de maladie et de mortalité. Leur constance permet aux assureurs de calculer approximativement les pertes probables d'une décade à une autre, bien qu'ils choisissent comme exemple les classes les plus robustes et les plus favorisées, et une société quelconque peut estimer, si elle veut, ses pertes de temps par maladie et se prémunir contre les éventualités imprévues de l'avenir.

Une découverte qui de nos jours a ajouté un grand intérêt aux sciences naturelles, la distribution géographique des animaux et des plantes, dans certaines limites, a son pendant en ce qui concerne les maladies. Tandis que les uns semblent presque cosmopolites, d'autres sont confinés dans des localités restreintes, au delà desquelles, sans aucune raison apparente, ils semblent ne pas vouloir aller. Comme certaines plantes croissent mieux en rapport avec d'autres ou dans leur voisinage, de même il y a des maladies ayant entre elles une mutuelle affinité; d'autre part, il existe des antagonismes et des afférences inexplicables dans les végétaux comme dans les maladies.

En outre, ce pouvoir particulier aux êtres organisés d'endurer, dans de larges limites, toute sorte de changements physiques et d'influences déprimantes, n'est pas moins remarquable dans la tolérance des maladies. Cette « force en réserve » semble une nécessité préliminaire à l'existence de la maladie ou du moins à la convalescence. Sans elle les fonctions ordinaires seraient en danger permanent d'interruption ou de destruction complète. Avec elle, la plus grave maladie peut passer par toutes ses périodes jusqu'à parfait rétablissement de l'organisme sans que le malade en soit à la fin grandement incommodé. Cela paraîtra plus providentiel encore si l'on considère que, durant la maladie, le peu de nourriture donné pour l'entretien des forces est refusé par le malade et que souvent ce qu'on peut lui faire prendre est à peine suffisant pour le faire vivre. On a tort d'appeler cette force ou l'une de ses phases, *vis medicatrix;* ce terme, qu'il serait bon de voir disparaître le plus tôt possible, comprend des théories abandonnées depuis longtemps et maintenant presque oubliées. C'est simplement un principe vital soutenant l'organisme à travers les périodes de la maladie et aussi nécessaire au début qu'à la fin.

Telles sont les marques évidentes de la prévoyance et du destin dans la manifestation des maladies. On les trouve dans les restes fossiles des animaux qui ont existé et souffert longtemps avant l'apparition de l'homme sur la terre; dans les maladies de ceux qui existent, soit les bêtes sauvages qui fuient l'approche de l'homme, soit les bêtes domestiques qui vivent à ses côtés, aussi bien que dans celles du règne végétal dont chaque forêt, bosquet ou verger, offre des preuves convaincantes.

Elles éclatent universellement et complétement surtout chez l'homme, qui, depuis son berceau jusqu'à sa tombe, ne fait que passer d'une expérience à une autre à cet égard dans les positions qui lui sont assignées.

Elles se voient jusque dans l'observation clinique des diverses maladies, dans leur développement systématique et mystérieux, dans leur distribution géographique, leur périodicité, leur incubation et leur déclin. De quelque point de vue que l'on envisage ce sujet, il s'élève ainsi des preuves évidentes, d'une intelligence et d'une invention créatrices. Et de même que de tous côtés les preuves abondent pour montrer un plan défini dans les autres opérations de la nature, on doit en admettre la révélation manifeste dans l'apparition régulière et imprévue des maladies.

Ce n'est donc pas à l'homme à en déterminer le pourquoi. Sagement ordonnées, les maladies n'impliquent pas nécessairement « une malveillance gratuite », et il est possible, en dépit de quelques philosophes, de regarder la terre, et tout ce qu'elle contient, comme une simple expression de la pensée divine, sans toucher la question du bien et du mal. Réfuter cette opinion est étranger à notre but; quoi qu'il en soit, nous en savons assez maintenant comme homme de science pour comprendre, humblement reconnaissants, que, dans le gouvernement divin, le fait décide toujours la question de droit, et que quoique fasse Celui qui ne rend compte de ses actions à personne, il a eu en tout temps et en tous lieux le droit incontestable de les exécuter.

Si, d'après ces faits, on ne peut établir, du moins jusqu'à un nouvel ordre de choses, pourquoi les êtres organisés ont été et seront exposés aux maladies, il faut retrancher ainsi ce qui ne peut être expliqué de ce qui peut l'être, ce qui est encore une addition utile à la science. Reconnaissant de telles limites, nous ne devons pas, comme les grands hommes dont Hippocrate a réfuté les opinions (car il y avait avant lui de grands médecins), travailler à rapporter toutes les maladies à la chaleur, au froid, à l'humidité, à la sécheresse, ni à ces

Digitized by Google

causes appelées inflammatoires et qui ont disparu à la lumière de notre siècle, ni à toutes les autres théories qui n'ont eu qu'une existence éphémère. Mais nous devrons les regarder comme des plans arrêtés, de même que l'électricité et la gravitation, et, procédant comme avec ces lois, étudier leur développement.

Est-ce à dire que nous n'ayons qu'à nous croiser les bras en attendant les événements avec indifférence? Nullement. Que l'orage s'élève, que les vents soufflent, nous pouvons nous abriter contre celui-là et nous garantir de ceux-ci, de même qu'à un été pluvieux nous opposons avec avantage les inventions de la civilisation moderne. Il s'ensuit seulement que nous ne pouvons pas essayer de changer les lois de la nature avec succès, arrêter la furie des éléments ni l'influence de leurs désordres. Nous ne pouvons qu'en estimer la force, en calculer les mouvements, et avec les connaissances que nous en avons, nous conduire de telle façon que, dans plusieurs cas, nous puissions en éviter les atteintes ou du moins en atténuer les maux pendant leur durée et profiter même des avantages qui peuvent en résulter.

En ce qui concerne les maladies, il nous est impossible d'en bannir les éléments, ni souvent d'en prévenir l'arrivée, d'en arrêter les progrès, ou même d'en diminuer la durée; nous ne pouvons pas davantage en modifier les éléments destructeurs, ni diminuer très-sensiblement la proportion de mortalité.

Mais, en reconnaissant leur place dans le grand plan de la création, en acquérant la plus parfaite connaissance possible de leurs phénomènes, nous pourrons chercher, avec plus de chance de succès, à en éviter l'approche. Ainsi, quand une maladie a pris racine, nous pouvons, aussi longtemps qu'il est nécessaire, mettre obstacle à son développement naturel et soutenir complétement l'organisme dans son pouvoir de tolérance jusqu'à ce que le processus morbide soit définitivement épuisé. Accomplir cette tâche n'est pas facile. Elle exige une connaissance si profonde des maladies que peu de savants médecins la possèdent; une analyse minutieuse de chaque cas isolé, comme la font de nos jours les praticiens les plus laborieux, une supériorité et un usage parfait de toutes les ressources de l'art sont indispensables, ainsi que le contrôle absolu, complet du malade et de tout ce qui l'entoure que le médecin ne peut exercer habituellement. Les médecins et le public comprendront sans doute à l'avenir la nécessité de ces perfectionnements pour le salut du malade, bien que jusqu'ici on ne paraisse guère vouloir se conformer à toutes les exigences de la nature et aux lois de la maladie.

Le médecin, dit le savant Adams, traducteur d'Hipprocrate, qui ne peut fixer au malade l'issue probable de sa maladie en la laissant suivre son cours naturel, n'est pas apte à la guérir. S'il fallait prendre cette proposition à la lettre, combien peu de médecins seraient dignes de remplir leur mission un seul jour!

Mais qui de nous a jamais laissé une maladie suivre son cours naturel, à moins que, plus hardi que ses collègues, il n'ait risqué d'encourir leurs blâmes et tenté l'expérience? Et pourtant l'épreuve n'est pas si dangereuse qu'on le croyait autrefois; peut-être même qu'en la tentant bravement et avec autant de conviction que l'on administre les remèdes nouveaux, vantés et trop souvent donnés comme spécifiques, opérerait-on plus de cures merveilleuses que jamais on en a relatées. Le temps est proche, peut-être plus que l'on ne croit, où le public comprendra que le soin du malade, son vrai *traitement*, ne consiste pas indispensablement à lui administrer des drogues, mais à attendre que les indications rationnelles et évidentes s'en présentent. Le jeune médecin ne se trouvera plus alors dans la triste nécessité, pour satisfaire les assistants, d'écrire son ordonnance avant d'avoir examiné son malade, ni de donner avec assurance un nom à sa maladie avant d'avoir eu le temps d'en étudier les symptômes. Il n'y a pas de raison pour que, dès à présent, les médecins n'arrivent pas à ce résultat désirable par un effort sublime et une réaction combinée de la corporation tout entière. Ce résultat obtenu, les exigences d'Adams seront acceptables. A tout prix, il faut d'ailleurs que l'éducation des élèves en médecine soit fondée sur de nouvelles bases. Aucune école n'a encore fourni, dans la chrétienté, l'occasion propice d'étudier le cours naturel de la maladie. Étudiée par différents observateurs, si nous en croyons des autorités éminentes et nos propres observations, la même maladie peut se présenter sous différents aspects et le traitement qu'on lui applique varier en conséquence. Bien que les effets immédiats des drogues et leur influence thérapeutique accréditée diffèrent essentiellement et ne doivent jamais être confondus, on laisse trop souvent croire aux élèves que toutes les guérisons dont ils sont témoins sont le résultat des prescriptions, ce qui les fait entrer dans la pratique avec cette appréhension que s'ils ne guérissent pas généralement, c'est pour n'avoir pas eu la chance de tomber sur le remède approprié. Le mélange de divers médicaments, pour tâcher d'y réunir celui qui doit convenir, n'est pas seulement le résultat de leur instruction, mais en est le plus simple corollaire. Les conséquences de ces principes erronés sont, pour la plupart, des années d'une expérience anxieuse et décevante, et pour quelques-uns, des désappointements continuels se terminant par un profond scepticisme médical.

La doctrine émise et soutenue par nous conduit à un tout autre résultat, c'est-à-dire à l'entier abandon des anciennes notions sur les causes premières des maladies et à des vues nouvelles sur la raison même de leur existence.

Elle prouve l'impossibilité de soutenir que la maladie peut être expulsée seulement de l'organisme par un pouvoir antagoniste quelconque, la *vis medicatrix*, par exemple, ou par une maladie nouvelle et incompatible artificiellement développée, ou bien qu'elle est en elle-même un effort — *conamen* — assez puissant pour chasser de l'économie l'ennemi qui la tourmente; mais elle proclame, au contraire, que c'est une des conséquences de la vie instituée dès la création. Elle reconnaît néanmoins les réelles acquisitions du passé et met à profit les vérités mêlées à tant d'erreurs qui ont si longtemps arrêté le progrès.

Une fois acceptée, cette doctrine exigera, de la part des étudiants, d'abord une connaissance parfaite du corps à l'état normal, de sa structure organique, de sa forme extérieure et de ses fonctions internes; puis la recherche des phénomènes naturels de la maladie, *inaltérés par le traitement*, comme une nécessité préliminaire de leur conduite.

Elle requerra également d'eux une étude approfondie des troubles de l'intelligence, comme de ceux du corps et de leur mutuelle réaction, en santé comme en maladie; celles-ci étant les parties du grand plan et souvent confondues intimement ensemble. En cela, comme dans l'étude des altérations cadavériques, l'éducation médicale est tout à fait insuffisante.

Digitized by Google

Laissez voir aux élèves les omissions et les erreurs de leurs prédécesseurs; laissez-les étudier les effets des agents médicamenteux quand ils seront convenablement instruits, mais pas avant. Chaque pas qu'ils feront en partant de cette base sera, pour eux et la science, un véritable progrès, non suivi de désappointement ni de scepticisme. Toute progression dans cette voie est la bonne direction. *Vestigia nulla retrorsum.*

On a beaucoup vanté, dans ces dernières années, le pouvoir de l'homme sur les plantes et les animaux pour en modifier la forme, la couleur, la croissance et les autres qualités, en ajoutant comme preuve son pouvoir semblable sur les maladies; mais il n'y a aucune analogie. Perfectionner un mouton d'espèce dégénérée ou augmenter par le croisement le nombre des vertèbres d'oiseaux, de génération en génération, c'est tout autre chose que de modifier chez l'homme le cours et la terminaison d'une maladie. Ce sont des choses différentes sans connexion logique. L'une est nécessairement limitée à la vie d'un individu ou seulement à la durée de la maladie, l'autre peut, au contraire, s'étendre à plusieurs générations. D'ailleurs, la permanence de l'espèce n'a pas été encore réfutée, et il sera toujours temps d'employer ces arguments quand les loups engendreront des chiens, et qu'il sera hors de doute que les singes deviennent des hommes.

Tout en admirant l'activité de nos écoles, les facilités d'instruction et d'observation clinique dans nos hôpitaux, le zèle des sociétés savantes, l'énergie des individus et tous les moyens accordés à l'avancement professionnel, maintenant si multiples et si abondants, on doit regretter la trop grande disposition à recourir encore si facilement aux causes secondaires et à empêcher l'avancement de la science médicale, en lui demandant plus de vérité qu'elle n'en comporte actuellement. La presse médicale, qui s'est si souvent glorifiée d'être le plus grand propagateur de la science, est encore trop souvent le réceptacle d'une fausse philosophie et de propositions indignes. La plus grande partie des publications périodiques sont remplies de faits erronés, de raisonnements faux et de conclusions qui n'en sont pas. Le meilleur volume même semblerait incomplet sans des cas remarquables choisis tout exprès ou des formules infaillibles dont on n'a jamais peut-être fait l'épreuve. L'auteur qui relaterait simplement les remarques de sa propre expérience — et de la sienne seule — dans des cas ordinaires, ses déceptions et ses insuccès dans l'emploi de ces agents réputés infaillibles, mériterait, s'il ne les reçoit pas, les plus grands éloges de ses collègues, et serait plus utile que les armées au bien commun de l'État.

Les modes, en thérapeutique, sont fluctuantes et passagères. Toute époque se vante d'avoir surpassé la précédente et établi au moins quelque chose de définitif. Si nous sourions des connaissances de nos prédécesseurs, ce n'est que pour faire rire des nôtres ceux qui nous succéderont. Un temps fut, dont certains hommes se souviennent encore, que l'on regardait la pneumonie comme une maladie fatale, que la saignée seule, pratiquée au début, pouvait juguler. Aujourd'hui, un éminent observateur la cite comme un exemple des plus frappants des maladies se limitant d'elles-mêmes. Des médecins se rappellent encore avoir pratiqué, sous l'empire de cette doctrine : que le croup spasmodique était d'un danger imminent si la veine jugulaire externe n'était pas ouverte aussitôt; on sait, maintenant, que c'est un symptôme relativement peu dangereux d'une autre lésion, symptôme ne réclamant aucun traitement spécial. De nos jours encore, on a enseigné que la salivation mercurielle était non-seulement le spécifique et l'antidote de l'iritis, mais absolument essentiel au succès du traitement, tandis que nous avons justement appelé bienfaiteur public celui de nous qui a montré l'inutilité et le préjudice même de cette pratique. Mais pourquoi multiplier les exemples? Cela a été, cela sera jusqu'à ce que des vues plus nouvelles et plus correctes soient répandues sur le plan de la création et les pouvoirs qu'il nous accorde. Les grands faits de notre science sont permanents, et quoique faiblement établis de temps en temps ou acceptés avec hésitation, ils n'en prévaudront et n'en triompheront pas moins à la fin. Les propositions fausses sont des moyens dangereux que mettra toujours en pratique le plus ignorant. La vérité est affaiblie par la moindre erreur, et la profession qui admet celle-ci doit perdre à la fin le respect d'elle-même. Le remède est dans nos mains, sachons l'appliquer en temps voulu.

La médecine, dit notre Hippocrate américain, est l'art de connaître les maladies, de les guérir ou seulement de les améliorer. A cette sage remarque, on peut ajouter que le médecin devrait aussi enseigner au malade et à ses amis à se soumettre d'eux-mêmes aux lois de la maladie, lois aussi manifestes et inflexibles que celles de la santé. La profession acquerra alors une dignité qu'elle n'a pas, et le praticien deviendra un guide sûr et lumineux au lieu d'un marchand de remèdes ignorant et grossier.

Pour augmenter l'attention sur ce sujet, nous nous sommes risqués à accomplir un devoir périlleux que nous remplissons aujourd'hui. Espérons qu'une fois les obstacles écartés un à un, le progrès deviendra plus aisé à l'avenir. Rien dans le passé ne peut nous décourager d'un nouvel effort. Quoique éloigné, le but est néanmoins en vue; le moment actuel est propice, les sciences d'observation sont en progrès. Hâtons-nous, déployons notre étendard à l'avant-garde, c'est ainsi que nous satisferons aux exigences de notre siècle et que nous ennoblirons réellement notre profession.

B. E. COTTING.

Traduit de l'anglais par GASTON GARNIER.

MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE.

PHYSIOLOGIE COMPARÉE.

COURS DE M. VULPIAN (1).

Mécanisme de la sécrétion salivaire.

Il y a deux questions à étudier sur le mécanisme de la sécrétion salivaire comme pour toutes les sécrétions : 1° quel est le mécanisme de la formation de la salive? 2° comment se fait son excrétion?

De ces deux questions la première est sans contredit la plus obscure : on ne sait même pas si la salive existe dans le sang, ou bien si elle est fabriquée de toutes pièces par la glande, au moyen des matériaux communs du sang. Je crois que ce n'est ni dans l'une ni dans l'autre de ces hypothèses que se trouve la vérité d'une façon exclusive. Il ne faudrait pas, en se fondant sur le mécanisme de la sécrétion urinaire, établir

(1) Voy. les nos 32, 33, 37 et 40.

Digitized by Google

une généralisation pour toutes les glandes. Sans doute l'urée existe dans le sang et les reins ne font en quelque sorte que la filtrer. Mais pourrait-on appliquer cette règle au foie? Non assurément, il y a dans la bile une matière colorante et des acides biliaires qui, certainement, ne se retrouvent pas en nature dans le sang.

Il est difficile de se prononcer catégoriquement sur le processus de la sécrétion salivaire, et cette difficulté provient en grande partie de l'imperfection de nos connaissances sur la composition chimique de la salive. Comment rechercher dans le sang des matières aussi peu définies que les substances albuminoïdes de la salive, que la diastase salivaire, entre autres? Dans ce doute nous ne pouvons que constater un fait, c'est que les cellules des glandes salivaires ont la propriété de former la salive aux dépens des matériaux du sang, par un acte analogue à ceux de la nutrition intime, et de les exhaler pour ainsi dire, dans l'intérieur du cul-de-sac terminal du canalicule excréteur. Tel est le phénomène de la sécrétion.

Alors commence l'excrétion. Le fluide sécrété remplit le cul-de-sac glandulaire, puis le canalicule qui en part, et, comme la sécrétion continue, le fluide avance poussé par une sorte de *vis a tergo* jusque dans le canal excréteur commun et se trouve amené jusque dans la cavité buccale. Il ne faut pas chercher d'autre explication à l'excrétion ni invoquer des phénomènes de contraction musculaire qui ne se manifestent probablement pas dans toutes les glandes, et qui, en tout cas, ne peuvent jouer qu'un rôle accessoire.

La sécrétion et l'excrétion de la salive ont lieu d'une façon continue dans l'état normal, et, ce qui le prouve bien, ce sont les mouvements de déglutition que l'animal exécute de temps en temps. Ces mouvements, je n'ai pas besoin de vous le dire, s'effectuent chez l'Homme ; on les a observés aussi chez le Cheval. Enfin, d'après mes expériences sur le Chien, la sécrétion aurait lieu chez cet animal d'une manière continue, surtout dans la glande sous-maxillaire et dans la glande sublinguale. On s'en convainc facilement en plaçant des tubes dans les conduits excréteurs de ces glandes. En ce qui regarde la parotide, si l'on introduit un tube dans le canal de Sténon chez le Chien, on est amené à croire que la sécrétion y est intermittente, car on ne voit rien couler à l'état normal ; cependant le fait n'est pas absolument certain et je croirais volontiers que cette glande n'échappe pas à la règle générale.

Quoi qu'il en soit, si la sécrétion salivaire ne se fait pas d'une façon rigoureusement intermittente ; on peut affirmer qu'elle se fait avec rémittence, et à certains moments la sécrétion s'exalte. Cette augmentation dans le flux salivaire a lieu sous l'empire de causes qui sont parfaitement définies. La vue, l'odeur, ou même simplement le souvenir de mets exquis, excite à un haut degré la sécrétion de la glande sous-maxillaire ; d'où l'expression que vous connaissez : l'eau en vient à la bouche. Dans certains cas même la salive s'échappe en jet vigoureux par l'orifice des conduits de Wharton et est projetée au dehors. Du reste, mieux encore que les excitations que je viens de vous signaler, le contact des aliments avec la muqueuse buccale excite la sécrétion de ces glandes sous-maxillaires. La mastication produit le même effet sur la parotide. Enfin, des mouvements de déglutition, surtout chez le Chien, excitent la sécrétion sublinguale. Chez l'homme, des excitations psychiques ont une grande influence sur la sécrétion salivaire. Ainsi une violente émotion supprime brusquement cette sécrétion. Les voyageurs rapportent que dans l'Inde, lorsqu'un domestique est soupçonné de vol, on lui place dans la bouche une grande quantité de riz cuit à l'eau et desséché. Si ce riz reste sec la culpabilité du serviteur est démontrée.

Cette simple énumération suffit amplement pour vous montrer qu'il ne saurait y avoir là un effet de la compression produite par la contraction des muscles en rapport avec les glandes salivaires. Du reste, à défaut de la physiologie, l'anatomie suffirait pour nous faire repousser cette supposition, car aucun muscle ne pourrait servir à cette action. Déjà Bordeu, dans son *Traité sur les glandes*, avait fait justice de cette hypothèse erronée.

Il y a là, dans la plupart des cas, sans aucun doute, le résultat d'actions nerveuses analogues à ces phénomènes que l'on a désignés sous le nom d'actes réflexes, sensitivo-moteurs ou idéo-moteurs. On ne peut y voir rien de spontané : toujours une impression, perçue ou non, ou une idée précèdent l'excitation réflexe de la sécrétion. Dans presque tous les cas, à l'exception de ceux où l'incitation initiale est une idée ou un souvenir, il y a un véritable acte réflexe, c'est-à-dire qu'une excitation produite sur une membrane muqueuse excitable est transportée au centre nerveux, y détermine une modification par suite de laquelle des nerfs centrifuges destinés à la glande sont excités à leur tour et provoquent la sécrétion. C'est bien là un acte réflexe type, tel que je vous l'ai montré dans mes leçons sur le système nerveux (1).

Mais pour rendre la démonstration plus claire et pour que vous ayez bien présents les termes de la comparaison, je vais répéter l'expérience sur ce train postérieur de Grenouille. Vous voyez que lorsque je pince sa patte, elle la retire. Vous voyez de plus que lorsque je place sur la région dorsale une goutte d'acide, la Grenouille cherche à enlever cette cause d'irritation ; et que lorsque je change le point sur lequel j'applique cette goutte d'acide, la Grenouille à son tour modifie ses moyens de défense. C'est ce que j'ai appelé mouvements réflexes adaptés.

Or nous allons voir exactement la même chose dans la sécrétion salivaire, surtout dans ses exacerbations. Ici l'excitation est faite sur la muqueuse de la bouche ou de la langue ; la sensation est transportée par le lingual en un point particulier des centres nerveux, puis il se fait une excitation secondaire des fibres nerveuses centrifuges qui se rendent à la glande. Ces données sont positives. Des recherches faites par M. Cl. Bernard sur le bulbe, à propos de la formation du sucre, et dont je vous entretiendrai plus tard, lui ont montré que l'on communique une grande activité à la sécrétion salivaire, si l'on vient à piquer un point qui se trouve sur le quatrième ventricule au niveau, mais un peu en arrière de l'origine du nerf trijumeau.

Voilà le phénomène réflexe bien apparent, il me reste à vous montrer des adaptations analogues à celles que nous avons observées sur ce train de Grenouille. Or, sur un Chien qui porte des tubes dans ses canaux salivaires, nous voyons que, lorsqu'on verse du vinaigre l'on détermine une sécrétion très-abondante. Mais si l'on emploie la soude qui semble pourtant très-excitante, on n'obtient qu'une sécrétion assez mé-

(1) Voyez : *Leçons sur la physiologie générale et comparée du système nerveux, faites au Muséum d'histoire naturelle*, par M. Vulpian ; rédigées par M. E. Bremond. Paris 1866, leçon XVII, p. 392 et *passim*.

Digitized by Google

diocre. Lorsqu'un Cheval mange du foin sec, ainsi que je vous l'ai dit dans ma leçon précédente, il secrète une grande quantité de salive; cette sécrétion est très-minime au contraire si le Cheval mange de la luzerne verte. Ce qui montre encore combien cette adaptation est précise, c'est que si l'on remplace les aliments secs par de l'étoupe on ne voit plus se produire l'exaltation de la sécrétion salivaire.

Telle est la théorie de la salivation réduite à sa plus simple expression. Mais cet exposé de faits ne suffit pas, il faut aussi vous donner une démonstration. Cette démonstration a été faite surtout sur la glande sous-maxillaire. C'est à M. Ludwig et à ses élèves, MM. Bahn et Becher, que l'on doit les premiers travaux sérieux sur ce sujet. D'autres observations ont été fournies par M. Czermak, puis par MM. Eckhard et Adrian; mais c'est surtout à M. Cl. Bernard que l'on doit les notions les plus importantes et les plus précises.

Pour bien comprendre l'exposé des faits, il est nécessaire de connaître quels sont les rapports qui existent entre les glandes sublinguales et sous-maxillaires et le système nerveux. Une figure rendra plus facile nos explications.

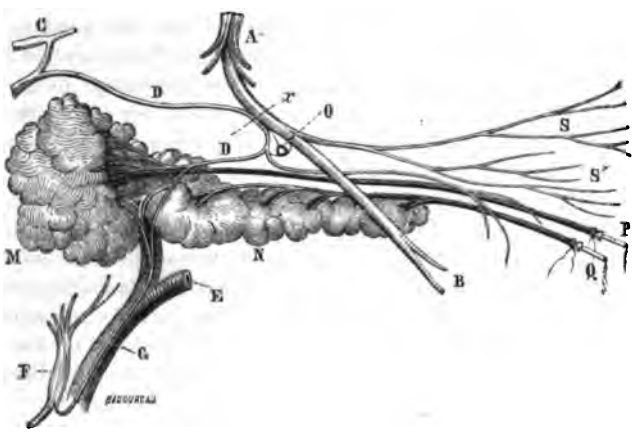


Fig. 314. — Les glandes salivaires sous-maxillaire et sublinguale chez le chien, et les nerfs et les vaisseaux en rapport avec la glande sous-maxillaire, pour montrer le mécanisme de la sécrétion dans cette glande.

M. Glande salivaire sous-maxillaire. — N. Glande salivaire sublinguale. — P. Conduit excréteur de la glande sous-maxillaire dans lequel on a introduit un tube. — Q. Conduit excréteur de la glande sublinguale, dans lequel on a aussi introduit un tube. — AB. Nerf lingual provenant de la branche maxillaire inférieure de la cinquième paire nerveuse cérébrale (le trijumeau). — SS' Rameaux du nerf lingual se distribuant dans la muqueuse buccale. — C. Nerf facial. — DD. Corde du tympan, rameau du nerf facial se distribuant dans la glande sous-maxillaire après s'être accolé quelque temps au nerf lingual. — O. Ganglion sympathique sous-maxillaire. — F. Ganglion cervical supérieur. — G. Rameau nerveux allant du ganglion cervical supérieur à la glande sous-maxillaire. — E. Artère maxillaire profonde desservant la glande sous-maxillaire.

Vous voyez que du nerf lingual, branche du nerf trijumeau, se détachent des filets pour se rendre à la glande sous-maxillaire : mais en réalité ces filets ne proviennent pas du lingual lui-même; ils sont fournis par la corde du tympan, branche du facial qui s'accole quelque temps au lingual et s'en détache intégralement pour se distribuer à la glande sous-maxillaire, après s'être mis en rapport avec le ganglion nerveux sous-maxillaire; pas une seule fibre de la corde du tympan ne se rend à la langue comme nous l'avons prouvé par la méthode Wallérienne (*loc. cit*, page 250). Il y a de plus des rameaux nerveux qui viennent du sympathique cervical par les plexus carotidiens. Il y aurait aussi, d'après M. Cl. Bernard, quelques filets du mylo-hyoïdien; mais sur ce point les expériences de M. Cl. Bernard ne sont pas assez concluantes. D'après ces données, vous voyez que les rapports du vrai nerf lingual avec la glande ne sont pas directs, mais se font par l'intermédiaire des centres nerveux. Une excitation produite sur les extrémités périphériques du nerf lingual doit nécessairement être portée jusqu'aux centres nerveux, mettre en jeu la partie de ces centres d'où naissent les fibres de la corde du tympan; puis ces fibres elles-mêmes entrent en action et provoquent la glande à activer sa fonction.

Cette petite digression anatomique terminée, voyons les recherches physiologiques.

C'est M. Ludwig qui a fait sur ce point les premières expériences. Après avoir introduit un tube dans le canal de Wharton, il coupe le lingual au-dessus du point d'où se détachent les fibres destinées à la glande. L'écoulement de salive cesse d'avoir lieu. Dans cette expérience, il n'avait pas fait la distinction de ce qui appartient au lingual et de ce qui appartient au facial. Lorsque ensuite il galvanisait le bout périphérique, il s'écoulait par le tube une très-grande quantité de salive. M. Ludwig aurait vu, avec M. Becher, que dans ces conditions la proportion de matière solide diminue beaucoup, et que cette diminution porte en grande partie sur les matières organiques. M. Czermak a confirmé ces résultats expérimentaux.

Mais les recherches dues à M. Cl. Bernard sont bien plus complètes et bien plus précises. M. Cl. Bernard coupe le lingual au-dessous de ces filets nerveux : la sécrétion est fort diminuée. Si l'on place du vinaigre sur la langue, il se produit encore une sécrétion salivaire assez abondante; mais cette sécrétion réflexe se fait par l'intermédiaire du lingual du côté opposé : la preuve en est que si l'on coupe aussi cet autre lingual, l'excitation de la langue ne produit plus (ou presque plus) de sécrétion réflexe. Après avoir coupé un seul lingual sur un Chien au-dessous du point d'où se détachent les filets de la corde du tympan, M. Cl. Bernard pince le bout périphérique : il n'obtient rien; mais lorsqu'il pince le bout central, il obtient une sécrétion assez abondante (1).

Si l'on pratique la section du lingual au-dessus des filets nerveux qui vont à la glande, on a beau exciter la muqueuse linguale, on n'obtient plus rien, alors même que l'autre lingual est conservé. Mais si l'on porte l'excitation sur l'un et l'autre bout, l'excitation du bout central ne produit rien sur la glande en expérience et fait sécréter la glande du côté opposé. La galvanisation du bout périphérique détermine immédiatement une abondante sécrétion.

D'autre part, on laisse intact le nerf lingual, mais on coupe les filaments qui vont de ce nerf à la glande, c'est-à-dire la corde du tympan au moment où elle se sépare du nerf lingual. On excite la langue : il ne se produit plus rien quoique le lingual soit intact. On excite le bout périphérique de la corde du tympan ainsi coupée : aussitôt on observe une sécrétion abondante.

N'est-ce pas là un acte réflexe des mieux caractérisés? Il n'y manque aucun des caractères distinctifs, et toutes ces expériences de M. Cl. Bernard sont extrêmement saisissantes. L'arc est constitué par le lingual pour les fibres centripètes et la corde du tympan pour les fibres centrifuges.

(1) Voyez le cours de physiologie générale de M. Cl. Bernard à la Faculté des sciences de Paris, en 1865, *Revue des cours scientifiques*, n° 3 (16 décembre 1865), 3e année, p. 44 et suiv. — Voyez aussi le cours de 1864, 2e année, leçon XXV, p. 38, et les *Leçons sur les propriétés des tissus vivants*, leçon XXIV, p. 390 et *passim*.

Digitized by Google

Quoique l'on soit moins avancé pour les autres glandes salivaires parce qu'elles sont moins accessibles aux recherches directes, on sait que les choses se passent de même aussi pour elles. D'après M. Cl. Bernard, les nerfs dont nous venons de parler, à propos de la sécrétion sous-maxillaire, présideraient aussi aux phénomènes dont la glande sublinguale est le théâtre. Pour ce qui est de la glande parotide, d'après MM. Ludwig et Bahn, le trijumeau contiendrait la plupart des fibres centripètes et des fibres centrifuges impliquées dans les actions réflexes qui ont lieu dans cette glande; probablement certaines fibres du nerf glosso-pharyngien joueraient aussi un rôle comme agents centripètes et certaines fibres du nerf facial comme agents centrifuges. D'après M. Cl. Bernard ce serait surtout le nerf auriculo-temporal qui tiendrait ces actions réflexes de la parotide sous sa dépendance. Mais, sauf ces modifications inhérentes à l'anatomie, les phénomènes d'action réflexe que l'on observe dans les glandes parotides et sublinguales doivent, sans aucun doute, être en tout semblables à ceux que je vous ai décrits pour la glande sous-maxillaire.

Revenons à ce qui concerne cette dernière glande. La sécrétion de la glande sous-maxillaire n'est pas seulement soumise à l'influence du système nerveux cérébro-spinal; elle reçoit aussi celle du système sympathique.

MM. Czermak et Ludwig, chacun de leur côté, avaient institué des recherches sur ce point et ils avaient vu tous les deux que l'électrisation du grand sympathique du cou arrêtait la sécrétion salivaire. M. Czermak en avait inféré que le grand sympathique était un nerf qui arrêtait la sécrétion, comme le pneumogastrique est un nerf d'arrêt pour le cœur. M. Cl. Bernard l'avait cru aussi; mais quelque temps après, de même que MM. Eckard et Adrian, M. Cl. Bernard fut conduit par de nouvelles expériences à admettre que la sécrétion n'est pas arrêtée par la galvanisation du grand sympathique, et qu'elle change seulement de nature, la salive devenant plus épaisse, plus visqueuse et s'écoulant avec plus de difficulté.

Je crois que cette question n'est pas encore complétement élucidée et que de nouvelles recherches sont nécessaires. Les résultats obtenus jusqu'à présent ne se présentent pas d'une manière constante. J'ai tenté hier encore cette expérience : or, avec la pince de Pulvermacher qui ne donne qu'un courant très-faible, nous avons arrêté la sécrétion salivaire chez un chien en galvanisant le grand sympathique; quelque temps après avoir obtenu ce résultat de la manière la plus manifeste, nous avons employé un courant assez énergique et son action a été à peu près nulle.

Ainsi, il y a deux sources d'actions nerveuses qui exercent une influence plus ou moins vive sur la sécrétion salivaire; mais ce n'est pas tout, la sécrétion de la salive n'est pas influencée seulement par les diverses sources d'excitations déjà mentionnées. D'autres nerfs centripètes ont aussi une action sur les glandes. Au nombre de ces nerfs se trouve le nerf pneumogastrique. C'est vraisemblement par son intermédiaire que le centre salivaire du bulbe rachidien est mis en action, lorsqu'on voit la sécrétion salivaire s'exagérer chez des animaux dans l'estomac desquels on introduit, par une fistule gastrique, des substances irritantes, de la décoction de poivre par exemple. C'est aussi probablement par le même nerf que le centre nerveux salivaire est excité dans le cas de nausées produites par des troubles de la digestion ou par les lésions de certains viscères abdominaux. M. Cl. Bernard avait montré que lorsque le nerf pneumogastrique est coupé, l'excitation galvanique du bout supérieur de ce nerf détermine une augmentation de la sécrétion salivaire. M. Œhl a étudié d'une façon détaillée ce point de physiologie. Il a vu que la galvanisation d'un des pneumogastriques intact, ou du bout central de ce nerf après qu'il a été coupé, produit une salivation plus ou moins abondante par les deux glandes sous-maxillaires, mais plus considérable du côté excité. Si l'on a coupé préalablement le nerf lingual uni à la corde du tympan, ou les filets de ce dernier nerf après qu'ils se sont séparés du lingual, la galvanisation du nerf pneumogastrique du côté correspondant ne produit plus aucune augmentation de l'écoulement de la salive de ce côté, mais détermine encore une augmentation de cet écoulement du côté opposé. M. Œhl a fait voir de plus que l'effet produit sur les glandes sous-maxillaires par l'injection d'infusion de moutarde ou de poivre dans l'estomac, au travers d'une fistule gastrique, n'a plus lieu lorsque les nerfs vagues sont coupés. D'après le même auteur les nerfs vagues n'auraient aucune influence réflexe du même genre sur les glandes parotides.

Je dois dire que j'ai répété plusieurs des expériences de M. Œhl, et que je n'ai pas obtenu sur tous les points les mêmes résultats que lui. Ainsi, chez un Chien curarisé et soumis à la respiration artificielle, la galvanisation du nerf pneumogastrique vers le milieu de la région cervicale a déterminé de la façon la plus nette une accélération de l'écoulement salivaire, non-seulement par le canal de Wharton, mais encore par le conduit de Sténon. D'autre part, cette même expérience m'a fait voir que l'action du nerf pneumogastrique sur la sécrétion de la glande sous-maxillaire n'est pas transmise exclusivement par le nerf tympanico-lingual, car l'effet dont je viens de parler était obtenu chez un Chien sur lequel on avait tout d'abord coupé le nerf lingual en deux points, c'est-à-dire en deçà et au delà du point d'où les filets de la corde du tympan se séparent pour se rendre à la glande. Ces filets n'avaient donc plus aucune communication avec le centre nerveux cérébro-spinal, et ne pouvaient conséquemment servir de conducteurs à l'action réflexe déterminée par l'excitation du nerf vague.

Les nerfs sympathiques doivent jouer aussi dans certains cas le rôle de conducteurs centripètes transmettant au centre nerveux salivaire du bulbe rachidien les excitations qui doivent déterminer une augmentation de l'écoulement salivaire C'est ainsi que les choses doivent se passer lorsqu'il y a salivation dans les cas d'helminthiase, ou dans les cas de nausées provoquées par une lésion des reins, des ovaires, de l'utérus, etc.

Je ne crois pas avoir besoin de vous citer les influences que la vue, l'odorat ou même les idées ont sur la salive, je vous en ai déjà dit quelques mots, et ce sont des phénomènes que l'on observe si souvent qu'il est inutile d'insister sur ce sujet. Or, dans tous ces cas, et alors que les nerfs centripètes varient, il semble n'y avoir qu'une seule route ouverte pour le retour à la glande sous-maxillaire; en d'autres termes, il ne paraît n'exister qu'un seul nerf centrifuge, la corde du tympan. Lorsqu'on coupe ce nerf des deux côtés, on ferme tout chemin à l'action réflexe, et les phénomènes dont je vous entretiens ne se manifestent plus.

Ne prenez pas cependant ces paroles au pied de la lettre : il peut encore se produire des actions réflexes dans la glande sous-maxillaire après qu'on a coupé des deux côtés le nerf

Digitized by Google

lingual uni à la corde du tympan, et c'est là un fait capital dont on doit la connaissance à M. Cl. Bernard. Le ganglion sous-maxillaire et les filets qui en naissent pourraient encore transmettre les excitations, du moins celles qui proviennent de la muqueuse buccale.

Pour démontrer cela, on coupe le nerf lingual en *x* (voyez plus haut la fig. 314), au-dessus du point où les fibres de la corde du tympan s'en séparent pour se rendre au ganglion sous-maxillaire : on le coupe aussi au-dessous de ce point, et, pour rendre l'expérience encore plus concluante, on coupe aussi tous les filets qui proviennent du ganglion cervical supérieur du grand sympathique et qui sont destinés à la glande. On a mis préalablement, comme dans toutes les expériences de ce genre, un petit tube d'argent dans le canal de Wharton. Si, dans ces conditions, on prend le bout supérieur du lingual créé par la section faite au-dessous de la langue, si on le galvanise, on voit l'écoulement de la salive qui était arrêté recommencer au bout de quelques instants, pour cesser bientôt après l'interruption de l'excitation. L'explication de ce résultat se présente d'elle-même lorsque l'on considère quels sont les rapports entre le bout nerveux galvanisé et la glande. On voit qu'un petit nombre de fibres du nerf lingual vont de la périphérie vers le ganglion sous-maxillaire. Or c'est de ce ganglion que part l'excitation réflexe qui provoque l'écoulement de salive. Donc ce petit ganglion est un centre d'actions réflexes.

Ce fait est d'une importance capitale, c'est la première démonstation expérimentale à l'appui de l'opinion de Winslow et de Bichat sur l'indépendance du système nerveux sympathique. Jusque-là, tout se bornait à des vues théoriques ou à des inductions fondées sur des recherches anatomiques, au nombre desquelles on doit citer en première ligne celles de Bidder et Volkmann. Les travaux de M. Waller avaient apporté un commencement de preuve physiologique en montrant que les ganglions du grand sympathique sont des centres trophiques, comme la substance grise de la moelle épinière; mais il fallait prouver que ces ganglions sont des centres d'action réflexe; et, je le répète, l'expérience de M. Cl. Bernard est le premier fait qui ait fourni cette preuve indispensable. Ce pouvoir réflexe du ganglion sous-maxillaire dure peu, il est vrai; quelques heures après l'opération on ne peut déjà plus le mettre en évidence. Mais qu'importe, au point de vue de la conséquence fondamentale? Ce ganglion ne fonctionne-t-il pas, pendant quelques heures au moins, comme centre indépendant? Et d'ailleurs, les mutilations déterminées par l'opération ne sont-elles pas pour quelque chose dans l'abolition ultérieure du pouvoir réflexe dans ce ganglion?

Un autre fait signalé par M. Cl. Bernard, et montrant aussi jusqu'à un certain point l'importance de ce ganglion comme centre, c'est que l'écoulement de la salive, intermittent lorsque ce ganglion existe avec ses rapports normaux, deviendrait contenu, lorsque le ganglion est enlevé. J'attache, pour ma part, beaucoup moins d'importance à ce fait qu'au précédent, parce que je considère l'écoulement de la salive sous-maxillaire comme étant continu, ou à peu près, même dans les circonstances normales. — E. Brémond.

— La suite très-prochainement. —

COLLÉGE DE FRANCE.

HISTOIRE NATURELLE DES CORPS ORGANISÉS.

COURS DE M. ARMAND MOREAU (1).

Les poissons électriques.

Je mets sous vos yeux un poisson qui a été conservé dans l'alcool et que j'ai rapporté des côtes de la Méditerranée; il appartient à l'espèce *Torpedo oculata*, la plus jolie des torpilles.

On sait, de toute antiquité, qu'un homme qui s'avance dans la mer les pieds nus éprouve parfois tout à coup une sensation d'engourdissement dans le pied. Cette sensation, qui peut être très-douloureuse, est produite par un poisson semblable à celui que je vous présente, réagissant contre la pression du pied. C'est un phénomène que j'ai moi-même constaté sans le chercher dans la baie d'Arcachon. Depuis, et bien souvent, j'ai senti la commotion de la torpille et même du gymnote. Vous vous ferez une idée juste de cette sensation, si vous recevez une forte décharge d'une batterie électrique. Elle est particulièrement douloureuse quand la peau de l'observateur est dépouillée de l'épiderme.

J'avais limité dans la mer un certain espace, où j'enfermais des torpilles : couché à plat-ventre sur un bateau, je plongeais les deux bras dans l'eau, pour saisir par la queue un de ces poissons destinés à mes expériences. Pendant ces tentatives, j'éprouvais souvent la commotion dans l'un des bras, toujours le même, sans la ressentir dans l'autre.

Cet effet, qui me paraissait singulier, s'expliqua naturellement lorsque je découvris de petites écorchures que j'avais à la main, du côté où je sentais si vivement les décharges produites par les poissons qui s'agitaient et nageaient autour de moi.

Voici un effet de la décharge de la torpille sur un poisson : Un jour que j'accompagnais les pêcheurs en mer, une torpille fut prise et placée au fond de la barque dans une petite quantité d'eau; bientôt un turbot, d'une taille presque égale à celle de la torpille, fut pris et jeté dans le bateau, il vint à glisser sur le plancher, jusqu'auprès de la torpille.

Tout à coup nous le vîmes faire un bond énorme, puis rester pendant plus d'une minute immobile, le corps ployé en deux dans une violente contraction. Ce turbot venait de recevoir la décharge de la torpille; nous pouvons déjà, à l'aide de ce seul fait, nous rendre compte des mœurs de ces animaux.

On les désigne par des noms qui indiquent les effets qu'ils produisent : ainsi le mot grec νάρκη, qui veut dire torpille, est la racine du mot *narcotique*; le mot *dormant*, employé dans le bassin d'Arcachon, paraît correspondre aussi à l'effet d'engourdissement qui suit la décharge; les mots *trembleur*, *tremola*, *tremble*, ont encore rapport au même effet.

Les poissons de ce genre se tiennent habituellement immobiles au fond de l'eau, en partie cachés dans le sable. Leurs opercules, animés par le double mouvement de la respiration, leurs yeux et la ligne régulière de leur contour trahissent à peine leur présence.

Placés comme à l'affût, ils attendent qu'une proie arrive à

(1) Voyez le n° 26, page 425.

Digitized by Google

portée : qu'un poisson passe, et la décharge, littéralement rapide comme la foudre, car nous vous montrerons tout à l'heure qu'elle est de nature électrique, cette décharge, disons-nous, l'atteint douloureusement; la victime, immobilisée pour quelques instants, est engloutie par la torpille avant d'avoir repris la liberté de ses mouvements.

Les torpilles se nourrissent ainsi de poissons vivants dont la taille peut être relativement considérable. Tandis que je faisais des expériences sur la circulation, on m'apporta une torpille vivante et difforme; l'abdomen était distendu outre mesure. J'éprouvai plus de difficultés qu'à l'ordinaire à introduire des tubes dans les artères, et je ne réussis qu'après avoir incisé l'estomac pour le vider et le recoudre ensuite. Cet organe contenait une sole, repliée sur elle-même, à peine entamée par les sucs digestifs, et d'une longueur presque égale à celle de la torpille.

Cette faculté remarquable de frapper ainsi ses victimes se développe avant la naissance.

Étant à Arcachon, j'ouvris l'abdomen d'une torpille vivante et, ayant incisé avec précaution l'utérus, comme dans l'opération césarienne, je retirai plusieurs torpilles déjà bien développées.

Une d'elles, que je soutenais sur la paume de la main, me donna tout à coup une commotion très-vive. Ainsi, cette torpille, qui n'était pas encore sortie de l'utérus, possédait déjà une arme défensive, capable de la protéger contre la voracité des poissons, en attendant qu'elle lui serve à conquérir sa proie.

Nous avons déjà une idée de la puissance de cet appareil chez la torpille, il nous paraîtra encore plus formidable si nous considérons les poissons que je mets sous vos yeux et que l'on nomme les gymnotes électriques. Ce sont, comme vous le voyez, des poissons qui ressemblent à de grandes anguilles; ils vivent dans les eaux douces de l'Amérique tropicale. Les récits pittoresques du célèbre de Humboldt nous ont appris que ces poissons, en s'attachant au corps des chevaux qui descendent dans l'eau, les frappent de coups si terribles que ces animaux donnent tous les signes de la douleur la plus vive et de l'effroi le plus grand, et finissent par succomber dans cette lutte étrange. Cependant, en voyant ces grands animaux devenir victimes des gymnotes, nous risquons de nous faire une idée exagérée de la puissance de leurs appareils, surtout si nous nous rappelons avec quelle peine, dans les laboratoires, nous déterminons la mort des plus petits animaux par des décharges électriques. C'est qu'en effet, les chevaux ne périssent pas par l'effet immédiat de la décharge; ils sont frappés d'engourdissement et d'une sorte de paralysie qui les empêche de nager. Leurs efforts inutiles et désespérés achèvent de les épuiser, et quand la fatigue ne leur permet plus de tenir leurs naseaux hors de l'eau, ils cessent de respirer et périssent noyés.

Un sort pareil menace les hommes qui, nageant dans une eau profonde, sont atteints par les décharges des poissons électriques; mais ce danger, réel dans les pays de l'Équateur, où certaines espèces de poissons électriques ont une grande puissance, n'est presque pas à redouter sur nos côtes de la Méditerranée et de l'Océan. La première décharge que l'on reçoit d'une torpille est pénible, mais elle ne suffit pas, en général, à paralyser le nageur. Une seconde décharge, toujours plus faible que la première, est presque sans exemple : le poisson fuyant presque toujours un adversaire qu'il ne regarde pas comme une proie à sa convenance.

La nature électrique de la décharge des poissons que nous étudions est établie depuis longtemps. Voici quelques-unes des preuves que l'on peut en donner, et qui suffisent pour ne laisser aucun doute sur cette question; mais auparavant, je dois mettre sous vos yeux l'organe dans lequel cette fonction est localisée.

Vous voyez sur cette torpille, de chaque côté de la tête, deux organes d'un volume considérable par rapport au volume de l'animal. Ce sont les organes électriques. Ils sont composés de prismes hexagonaux dont la hauteur mesure toute l'épaisseur de l'animal, et dont les extrémités sont intimement unies à la peau. Les alvéoles dont se compose un gâteau de cire sortant de la ruche ont un aspect et des dimensions analogues.

Des diaphragmes très-minces divisent ces prismes perpendiculairement à leur axe. Le sang artériel est porté dans l'organe par des vaisseaux ramifiés. Il importe de remarquer que ces vaisseaux ne forment pas un riche réseau.

Les nerfs se distribuent à tout l'organe et sont, au contraire, remarquables par leur nombre et leur volume énorme. Ces nerfs viennent de deux sources : le nerf supérieur de l'organe électrique est une branche de la cinquième paire; les trois autres troncs prennent leur origine au bulbe rachidien, désigné ordinairement, dans ce poisson, sous le nom de lobe électrique. Ces trois derniers doivent être considérés comme des branches du nerf pneumo-gastrique.

Voici maintenant quelques preuves que l'on peut donner de la nature électrique de la décharge. Si l'on dispose une spirale de cuivre de façon que ses deux extrémités soient en rapport avec les deux faces de l'organe électrique, et si l'on met dans l'axe de la spirale une aiguille de fer doux, cette aiguille devient aimantée après plusieurs décharges de la torpille.

L'étincelle électrique a été obtenue par le père Linari, qui avait placé la torpille entre deux plateaux métalliques, munis chacun d'une petite tige et d'un bouton de métal.

L'appareil étant placé dans l'obscurité et le bouton de métal maintenu à une très-petite distance, la décharge de la torpille s'est manifestée par la présence d'une petite étincelle éclatant entre les deux boutons.

Si l'on dispose deux plaques métalliques sur les faces opposées de l'appareil électrique, avec un fil partant de chacune des plaques, pour aboutir aux nerfs d'une grenouille, on observe une contraction violente de la grenouille à l'occasion de chaque décharge du poisson.

Déjà, en 1778, Walsh avait montré qu'on peut impunément toucher la torpille avec un corps mauvais conducteur de l'électricité.

John Davy, qui avait aimanté ainsi une aiguille d'acier, a, en outre, fait dévier l'aiguille du galvanomètre avec le courant électrique provenant de la décharge de la torpille. Ces expériences suffisent pour nous permettre d'affirmer la nature électrique de la décharge de la torpille; je vous demanderai cependant la permission de vous citer encore, d'une manière très-brève, des expériences que j'ai faites à l'aide des appareils que je mets sous vos yeux.

Je suis parvenu à isoler l'électricité et à la recueillir captive dans un condensateur. La difficulté de ce problème tient au caractère instantané de la décharge et à l'impossibilité de prévoir à quel moment l'animal la produit. Il faut remar-

Digitized by Google

quer, en outre, que si l'on met en communication les deux armatures d'une bouteille de Leyde avec la face dorsale et la face ventrale de l'organe électrique, la décharge que donne celui-ci n'amassera pas l'électricité sur ce condensateur, puisque les fils qui conduisaient l'électricité aux armatures ramènent aussitôt cette électricité sur l'organe qui, toujours humide, permet la reconstitution des fluides à l'état neutre. Voici de quelle manière j'ai éludé les difficultés :

Il importe de déterminer la décharge à un moment précis, c'est ce que j'obtiens en excitant un nerf de l'organe électrique à l'aide d'un fil conducteur assujetti à passer à travers un interrupteur. La seconde condition à remplir est la rupture du fil conducteur qui porte l'électricité de la décharge de l'organe dans le condensateur. J'y arrive en assujettissant ce conducteur à passer par l'interrupteur que je vais décrire.

L'interrupteur est formé de deux tiges métalliques, A et B, parallèles, reliées entre elles par une tige isolante C, et pouvant décrire simultanément un arc de cercle autour d'une de leurs extrémités considérée comme centre. Les deux parallèles sont écartées avec force de la position dans laquelle elles établissent des communications. Au moment où tout est prêt, un ressort les chasse, et chacune d'elles décrit un petit arc de cercle. Dans cette course, la tige A rencontre à frottement une surface étroite métallique *a*, qu'elle dépasse, ayant établi pendant un instant très-court le passage du courant allant d'un des pôles de l'élément de Bunsen à une des bornes de l'appareil d'induction où se produit le courant induit excitateur du nerf. En même temps, la tige B a rencontré une plaque métallique *b*, plus large de quelques millimètres que la plaque *a*.

La tige B passe aussi à frottement et s'arrête au delà, ayant établi pendant un instant un chemin pour l'électricité, entre l'organe de la torpille et le condensateur.

On comprend que les phénomènes n'étant pas synchrones, il fallait que le passage de l'électricité de la torpille pût se faire un peu après le passage du courant qui va exciter le nerf.

La largeur plus grande donnée à la plaque *b* donne au contact de la tige B plus de durée, et remplit cette condition. Quant au temps que mettent les tiges parallèles A et B à décrire leurs arcs de cercle, il est comparable à celui que met le chien du fusil à s'abaisser quand on tire la gâchette.

J'ai pu, grâce à cet appareil, agir sur l'électroscope à feuilles d'or. La divergence des feuilles d'or et leur rapprochement, provoqués par les procédés ordinaires, permet de reconnaître la nature de l'électricité qui vient de la face dorsale et celle qui vient de la face ventrale de la torpille.

Avec le condensateur à large surface que je mets sous vos yeux, l'électricité de la torpille demeure dans les deux feuilles d'étain ; et j'ai produit la contraction énergique des grenouilles, en dirigeant sur leurs nerfs l'électricité captive dans ce condensateur, et qui n'était qu'une partie de l'électricité fournie par la torpille.

D'après M. Charles Robin, le pouvoir de produire la décharge électrique appartient aussi à tout le genre des Raies. M. Robin qui, dans des travaux anatomiques déjà anciens, a assimilé la structure d'un organe placé dans la queue de la raie à celle de l'organe électrique des torpilles, a récemment cherché les preuves expérimentales de cette assimilation, preuves qui sont, comme il le dit avec raison, les seuls arguments décisifs dans une pareille question (1). Les occasions de reproduire de pareilles recherches sont rarement obtenues ; celles-ci présentent des difficultés spéciales. En effet, pour constater les décharges électriques des torpilles, il n'est pas nécessaire d'employer des appareils de physique et les preuves surabondent ; mais c'est le contraire qui arrive pour l'organe de la raie dont les dimensions sont extrêmement petites, et la délicatesse des appareils dont il faut se servir oblige l'expérimentateur à un soin tout particulier.

En vous signalant ces difficultés, j'exprime le vœu que vous puissiez étudier sur la nature ces questions intéressantes, la physiologie marchera d'autant plus vite que les expérimentateurs se multiplieront davantage,

En décrivant anatomiquement l'appareil électrique, je vous ai déjà parlé des nerfs volumineux qu'il reçoit. Aucun animal ne possède d'organe qui soit pourvu de nerfs aussi nombreux et aussi apparents. Ces nerfs sont les conducteurs qui, allant des centres nerveux à l'organe, permettent à l'animal de donner une décharge volontaire ; aussi suffit-il de couper ces nerfs sur un point de leur trajet pour priver l'animal de l'usage de toute la partie de l'organe qu'animait le nerf coupé.

Mais la fonction subsiste, et elle est provoquée à volonté par le physiologiste dès qu'il excite le bout périphérique de ce nerf. Les trois nerfs électriques qui naissent du bulbe rachidien sortent d'un renflement appelé lobe électrique, auquel on a supposé une action importante et spéciale dans la fonction électrique. Je ne lui en reconnais aucune ; en effet, quand on excite l'origine des nerfs moteurs dans la moelle, on détermine l'activité de ces nerfs, qui se manifeste par les contractions des muscles auxquels ils se distribuent. L'excitation du lobe électrique produit l'activité du nerf, comme ferait l'excitation directe du nerf dans un point quelconque de son trajet.

Tous les nerfs peuvent être rapportés, comme on le sait, à deux classes : les nerfs centrifuges et les nerfs centripètes ; c'est-à-dire que tout nerf suppose nécessairement un courant marchant vers le centre, ou bien un courant marchant vers la périphérie. Les nerfs électriques appartiennent évidemment aux nerfs centrifuges, et leur analogie avec les nerfs de mouvement a été déjà signalée. Je me suis proposé de voir si cette analogie pouvait être établie à différents égards. La contractilité est la propriété inhérente à la fibre musculaire, elle peut être mise en jeu sans l'intermédiaire du nerf. J'ai essayé de voir si le tissu de l'organe électrique pouvait aussi manifester sa propriété indépendamment de l'action du nerf qui l'anime, et j'ai soumis des torpilles à l'action du curare pensant que les nerfs électriques perdraient, comme les nerfs moteurs, leur activité, tandis que les tissus garderaient encore leurs propriétés essentielles. Pour cela, j'injectai dans la veine dorsale une certaine quantité d'une solution de curare ; puis la torpille fut replacée dans l'eau de mer, et au bout de quelques instants ses mouvements cessèrent. Je plaçai alors sur sa face dorsale des grenouilles dont le bulbe rachidien était enlevé, de telle sorte qu'aucun mouvement volontaire ne pouvait plus se manifester chez elles. Je pinçai la torpille et toutes les grenouilles s'élancèrent aussi-

(1) *Journal d'anatomie et de physiologie*, 1865. — Démonstration expérimentale de la production d'électricité par un appareil propre aux poissons du genre des Raies.

Digitized by Google

tôt hors de l'eau, la torpille restant toujours absolument immobile. Voici ce qui s'est passé : le pincement a excité les nerfs de sentiment de la torpille ; ceux-ci ont transmis l'impression reçue au centre nerveux, et de là aux nerfs électriques qui ont provoqué la décharge, tandis que les nerfs qui vont aux muscles, soumis à l'influence du poison, n'ont pu faire contracter les muscles. Le curare avait donc paralysé les nerfs de mouvement sans paralyser les nerfs électriques. L'action du curare sur la torpille et l'immunité relative des nerfs électriques sont rendues plus nettes encore par l'épreuve suivante : Sur une torpille ainsi curarisée, et qui donnait lorsqu'on la pinçait des décharges électriques sans faire aucun mouvement, je mis à découvert les nerfs pneumogastriques avant leur entrée dans les branchies, et je les excitai par un courant électrique. Cette excitation ne déterminait aucun mouvement dans les muscles des branchies, mais provoquait des décharges de l'organe électrique. Les rameaux allant aux muscles étaient donc paralysés, tandis que les rameaux des mêmes nerfs allant à l'organe électrique ne l'étaient pas. Je me suis assuré que les muscles des branchies étaient, aussi bien que les autres muscles de l'animal, directement excitables, et parfaitement contractiles. Ainsi, comme on le voit, les nerfs électriques ne perdent la faculté de provoquer des décharges que longtemps après que les nerfs moteurs ont perdu leur action sur les muscles.

Dans ces recherches, je ne suis donc pas arrivé à résoudre la question que je m'étais posée, à savoir si le tissu propre de l'organe pouvait manifester son activité, c'est-à-dire une décharge, sans l'intermédiaire du nerf; mais, j'ai trouvé un résultat curieux et inattendu, en constatant que le nerf électrique ne subissait pas l'action du curare comme le ferait un nerf moteur.

Avant d'examiner les théories qui ont été proposées pour expliquer la formation de l'électricité, je désire vous parler de l'influence de la décharge sur le poisson qui la produit. Rien ne semble plus paradoxal que la fonction que nous étudions. Comment les torpilles ne sont-elles pas les premières blessées par les décharges qui tétanisent leurs victimes? Comment les fœtus qui sont dans l'utérus ne sont-ils pas tués par les décharges de la mère? Nous ne pouvons supposer aux tissus des poissons électriques des propriétés différentes de celles qui se rencontrent dans les tissus des autres animaux, et d'ailleurs, l'expérience nous montre (je l'ai constaté bien souvent) que les nerfs de sentiment, que les nerfs de mouvement, que les tissus contractiles des torpilles réagissent fortement sous l'influence de l'électricité. Voyons d'abord les faits, et je suis heureux de pouvoir ici vous citer des expériences que M. du Bois-Reymond, le professeur de Berlin qui s'est tant occupé d'électro-physiologie, a eu l'obligeance de me faire connaître, lorsque j'étais sur les côtes de la Méditerranée, occupé du même sujet. M. du Bois-Reymond a eu l'occasion d'expérimenter sur des gymnotes et des malaptérures, poissons électriques qui vivent dans l'eau douce, et par conséquent, peuvent être plus facilement transportés que les torpilles. Il a placé un malaptérure dans un bassin où se trouvaient des carpes, des tanches, des brochets, des silures, des cobitis, des perches, des grenouilles, et il a fait passer les décharges d'un appareil à traîneau, qui n'est autre que le modèle de celui que je mets sous vos yeux, augmentant successivement la force du courant. Les grenouilles étaient les premières tétanisées, venaient ensuite les poissons ordinaires; mais, tandis que des courants très-faibles et que l'on sent à peine à travers l'épiderme intact, suffisent pour déterminer ces effets chez toutes ces espèces, on pouvait donner à la décharge une force insupportable pour des personnes délicates, sans que le malaptérure s'en ressentît le moins du monde. Il continuait de mouvoir ses branchies et ses nageoires comme si de rien n'était, jouant au milieu des autres poissons le même rôle qu'une grenouille placée avec un oiseau et un mammifère sous la cloche d'une machine pneumatique. Ce qu'il y a de bien curieux, ajoute M. du Bois-Reymond, c'est que le malaptérure semble très-bien sentir les chocs qui le traversent, et même les éviter. Quand, par hasard, dans ses promenades autour du baquet, il vient à se trouver juste au-dessus de l'une ou de l'autre des lames métalliques qui amènent le courant, il ne tarde pas à s'enfuir, et même, on le voit se placer perpendiculairement à l'axe du courant, là où le courant a le minimum d'intensité.

Ainsi, suivant M. du Bois-Reymond, il faut admettre que l'immunité qu'il a constatée, ne s'étend que jusqu'à une certaine limite, au delà de laquelle le poisson électrique serait tétanisé, et tué, comme d'autres poissons.

Voici quelques expériences que j'ai faites à ce sujet : Une torpille bien vive, — placée dans un bassin avec une grenouille qui a subi la section du bulbe rachidien, de manière à être privée de tout mouvement volontaire et à indiquer sûrement par ses contractions le moment des décharges électriques, — donne des décharges sans faire le moindre mouvement apparent, mais à mesure que ces décharges se répètent, elles s'accompagnent de mouvements plus ou moins prononcés des yeux, des ailes, et même du reste du corps. Il m'a paru que la fatigue était la condition dans laquelle on observait des mouvements trahissant la sensibilité de l'animal. J'ai pu obtenir d'une façon nette, et bien plus certaine que les résultats que je viens de citer, la réaction physiologique de la torpille, sous l'influence de sa propre décharge. Voici comment j'opère : Je retire une torpille de l'eau, et j'enlève rapidement le cartilage qui forme la voûte crânienne. Je pratique sur les centres nerveux une section transversale au-dessus du lobe électrique. Désormais l'animal n'épuise plus, par des décharges volontaires, la puissance de son appareil, et de plus, les actions réflexes dépendant de la moelle, s'exagèrent dans ces conditions. J'excite alors successivement chacun des nerfs électriques au moyen du pincement ou d'un courant faible provenant d'une bobine d'induction. A chaque excitation se produit la décharge du département de l'organe électrique correspondant au nerf excité. En même temps que la décharge est accusée, soit par l'aiguille du galvanomètre, soit par le bondissement d'une grenouille, on observe des contractions plus ou moins vives des ailes de la torpille, et quelquefois des battements de la queue. L'intégrité de la moelle est nécessaire. En effet, si je détruis la moelle en introduisant un stylet dans le canal vertébral, et si j'excite ensuite des nerfs électriques ménagés à dessein, et jusque-là laissés intacts, je détermine des décharges aussi fortes, et plus fortes que les précédentes, comme le prouvent les mouvements violents de l'aiguille aimantée ou de la grenouille, mais les battements des ailes et de la queue sont alors tout à fait supprimés.

Un mouvement qui coïncide avec la décharge de la torpille, et que j'ai toujours observé quand elle est fatiguée, c'est l'abaissement de l'œil. J'ai reproduit à volonté ce phénomène,

Digitized by Google

en déterminant la décharge artificielle, et en excitant les nerfs de la partie antérieure de l'organe. Ainsi, je coupe le premier nerf électrique, branche de la cinquième paire, près de son origine; je le suspends à l'aide d'un fil de soie sec, j'excite ensuite ce nerf, soit par l'électricité, soit par le pincement, j'obtiens aussitôt la décharge du département antérieur de l'organe, et avec elle, l'abaissement très-prononcé de l'œil. Ce mouvement n'est pas dû à une action réflexe; en effet, je l'obtiens encore en enlevant complétement le cerveau. Il est dû à l'action directe de l'électricité de la torpille, sur le nerf moteur du muscle abaisseur de l'œil. En opérant comme je viens de le dire, dans ces expériences, il y a des plaies produites, des nerfs mis à nu, et par conséquent, les conditions physiologiques de protection, le mucus qui paraît jouer un rôle préservatif, faisant défaut, l'électricité de la torpille trouve, pour ainsi dire, une porte ouverte pour agir sur les tissus.

L'expérience suivante prouve que les nerfs électriques sont absolument insensibles : j'ai disséqué avec précaution ces nerfs et, leur continuité avec la moelle étant demeurée intacte, j'ai galvanisé ces nerfs avec les courants les plus forts dont je pouvais disposer, sans observer le moindre signe de réaction. Mais lorsque je portais l'excitation sur ces mêmes nerfs, à quelques millimètres au-dessus de l'organe électrique, j'avais des réactions très-fortes dues évidemment à l'excitation des filets sensibles qui se détachent des branches du pneumogastrique pour animer l'appareil des branchies.

En résumé, j'arrive au même résultat que M. du Bois-Reymond, et je crois que tous les observateurs qui ont pratiqué des expériences sur les poissons électriques, tels que MM. Matteucci, de Humboldt et tant d'autres, sont d'accord pour penser que les poissons électriques n'ont qu'une immunité relative, par rapport aux décharges, et qu'il faut, ici comme en physiologie générale, admettre malgré les apparences, que les propriétés des tissus sont les mêmes chez tous les animaux, et que les venins ou les armes de nature quelconque dont certaines espèces se servent d'une manière si terribles contre leurs ennemis, peuvent être retournés contre eux par l'homme qui aura analysé avec attention les conditions essentielles de leur action.

Les physiciens nous ont déjà beaucoup appris relativement aux conditions de production de l'électricité dans la nature inorganique, et ils ont construit des appareils variés pour produire de l'électricité. Le physiologiste doit aussi s'appliquer à dégager de la complexité du sujet qu'il étudie quelques phénomènes bien déterminés, et s'efforcer de les rattacher à des phénomènes pareils, observés en dehors des organismes vivants, et déjà analysés et expliqués par les physiciens et les chimistes. Il était permis de penser que les phénomènes électriques produits par les appareils organiques spéciaux dont nous avons parlé, reconnaîtraient comme cause prochaine, comme condition essentielle, les causes, les conditions, que nous savons déjà réaliser dans nos appareils artificiels pour produire des effets analogues. Sans exposer les objections qui peuvent dans l'état actuel de nos connaissances, être opposées aux théories relatives à la formation de l'électricité dans la torpille, je décrirai les expériences que j'ai faites en me plaçant au point de vue des auteurs de ces théories, c'est-à-dire en les considérant comme justes, et, persuadé que l'expérience est l'argument souverain qu'il faut invoquer en physiologie, plus encore que dans les autres sciences, pour légitimer les hypothèses les plus vraisemblables comme pour rejeter les plus improbables.

Parmi les théories qui ont été proposées pour expliquer la décharge électrique de la torpille, une des plus anciennes est celle qui assimile l'organe électrique à un condensateur recevant l'électricité des centres nerveux par l'intermédiaire des nerfs. Le fluide condensé reste en réserve dans l'organe, jusqu'au moment où, sous une influence volontaire, l'appareil se décharge. La présence dans les centres nerveux d'un lobe spécial situé à l'origine des nerfs principaux qui vont se distribuer à l'organe électrique, le volume énorme et la structure de ces nerfs, pouvaient, jusqu'à un certain point, donner à cette hypothèse quelque vraisemblance. Mais l'expérience que voici montre clairement qu'elle est inadmissible.

J'ai coupé sur une torpille tous les nerfs qui se rendent à l'appareil électrique, et en excitant, au moyen d'un faible courant, l'extrémité périphérique des nerfs ainsi coupés, j'ai déterminé des décharges répétées de plus en plus faibles. Après avoir ainsi épuisé l'organe, et bien constaté que l'on ne pouvait plus obtenir de décharges, même très-faibles, j'ai replacé la torpille dans l'eau de mer. Au bout de quelques heures, le poisson fut repris, les nerfs excités de nouveau. J'obtins, en agissant sur l'extrémité périphérique des nerfs coupés, des décharges fortes et répétées. J'excitai comparativement les nerfs du côté opposé, nerfs qui n'avaient pas été coupés d'avance, et j'obtins des décharges qui ne dépassaient pas en intensité, d'une manière sensible, celles du côté coupé. On doit conclure de cette expérience que l'électricité de la décharge n'a pas été formée dans les centres nerveux et portée ensuite à l'organe par les nerfs, puisque ces conducteurs supposés ont été détruits; et qu'ainsi l'organe électrique est, dans sa fonction, indépendant des centres nerveux, au même titre que le muscle l'est lui-même dans le phénomène de la contraction.

Une autre manière de concevoir la production de l'électricité dans l'appareil de la torpille consiste à considérer l'organe non plus comme un condensateur, mais comme agissant à la manière d'une pile, et par conséquent, la décharge électrique, comme un phénomène lié à une réaction chimique. Cette théorie, la plus généralement admise, suppose une sécrétion se faisant instantanément sous l'influence nerveuse dans tous les points de l'appareil. La circulation du sang étant une des conditions les plus indispensables à toute sécrétion, j'ai d'abord institué une expérience, afin de voir quel était son rôle dans la fonction électrique.

Sur une torpille vivante, j'ai cherché en arrière de l'estomac le vaisseau dorsal, et j'ai injecté dans ce vaisseau du suif, maintenu liquide à la faveur d'une température convenable et d'une petite quantité d'essence de térébentine. L'injection, poussée du côté des branchies, a rempli toutes les artères de l'organe électrique, et s'y est lentement solidifiée par le refroidissement. J'ai ensuite excité les nerfs de l'organe, et j'ai obtenu des décharges manifestes.

Il est évident que, dans des vaisseaux remplis de suif solide, il n'y a point de circulation, et que les phénomènes d'exosmose ne peuvent avoir lieu, tandis qu'on pourrait penser qu'ils se produisent encore dans l'expérience qui consiste à obtenir la décharge en excitant le nerf d'un morceau de l'organe électrique détaché de l'animal. Il est donc établi que le sang qui circule dans les artères n'est pas immédiatement nécessaire au phénomène de la décharge électrique.

Digitized by Google

J'ai supposé ensuite qu'une sécrétion pouvait encore se faire sous l'influence nerveuse, aux dépens des éléments liquides renfermés dans le tissu lui-même; de même que l'on voit dans des instants très-courts, il est vrai, la sécrétion de la glande sous-maxillaire se produire encore, quand on galvanise le filet nerveux qui part du lingual après la ligature de l'artère de la glande; et pensant que les réactions chimiques devaient se faire dans des milieux acides ou alcalins, j'espérais que l'expérience suivante me fournirait une indication importante relativement à la nature chimique des liquides mis en présence, et dont les réactions sont liées dans cette hypothèse au dégagement de l'électricité. Je sacrifie des torpilles de grande taille en enlevant rapidement les centres nerveux, puis ayant disséqué la peau de la face dorsale de l'organe, et rendu ainsi les prismes très-apparents, je transperce successivement, et sans en passer un seul, chacun des cinquante prismes les plus voisins de l'abdomen; ce sont les plus gros de l'organe. Quand ils sont ainsi tous transpercés, suivant leur axe, par un poinçon, je fais passer successivement dans chacun d'eux un courant d'eau fortement acidulée par l'acide sulfurique, puis, je coupe l'organe, de façon à ne conserver que le fragment composé des prismes ainsi traversés par l'acide. Le nerf qui anime cette portion de l'organe a été respecté; je l'excite alors, et constate que la décharge se produit toujours. Dans d'autres expériences, je fais traverser les prismes par un courant d'eau rendue très-alcaline au moyen d'une solution de potasse, et je constate encore que les décharges ont lieu comme auparavant. Je me suis toujours assuré, au moyen de différentes sections faites dans l'organe, qu'en tous les points le papier bleu de tournesol était fortement rougi, et le papier rouge fortement bleui, suivant que les prismes avaient été imbibés par l'acide sulfurique ou par la potasse.

En substituant à l'acide sulfurique l'acide nitrique, même très-étendu, j'ai cessé immédiatement d'obtenir la décharge; l'aspect opalin que prend alors l'appareil m'a fait penser que la coagulation de l'albumine était la cause de ce phénomène, et non la nature acide du liquide; l'alcool et le tannin qui, tous deux coagulent l'albumine, m'ont en effet donné le même résultat. L'état physique du milieu est donc plus important pour sa fonction que la réaction chimique, acide ou alcaline.

Il est nécessaire de prendre l'acide et l'alcali, dont on se sert à un degré de concentration capable de réagir fortement sur le papier de tournesol, mais cependant bien loin encore du maximum de concentration. On détruirait, en effet, les tissus de l'organe, et par suite, leurs propriétés, si l'on employait des liqueurs trop concentrées.

On voit par toutes ces expériences, que le milieu dans lequel se fait le dégagement de l'électricité peut être rendu acide, alcalin, ou laissé sensiblement neutre, comme il l'est normalement, sans que la fonction électrique disparaisse.

Tels sont les résultats que j'ai obtenus en cherchant à vérifier des théories qui s'offraient à l'esprit, avec quelques caractères de vraisemblance. Il est impossible d'admettre que l'électricité se forme dans les centres nerveux, et soit portée par les nerfs dans l'organe électrique qui la condenserait. En effet, les nerfs ont été tous coupés, l'organe épuisé, et, pour ainsi dire, vidé de toute électricité, et après quelques heures de repos, ce même organe a fourni des décharges aussi fortes que celui qui conservait intactes ses communications nerveuses avec les centres nerveux. Peut-on être aussi absolu relativement à l'autre théorie et dire : le courant électrique manifesté par l'organe n'est pas lié à des réactions chimiques? Je ne le crois pas, mais le physiologiste qui reproduira ces expériences et s'assurera par ses yeux que tous les points de l'organe ont une réaction franchement acide dans un cas, et franchement alcaline dans l'autre, et que, sous ce rapport, les milieux chimiques ont été rendus profondément dissemblables, sans que la fonction ait cessé d'être la même, le physiologiste qui verra toute circulation devenue impossible par la solidification du suif injecté dans les vaisseaux, trouvera sans doute dans la persistance de la fonction une raison propre à le faire douter de la valeur d'une théorie qui suppose une sécrétion, se produisant subitement à l'occasion d'une action nerveuse dans l'organe de la torpille, et donnant lieu à une réaction chimique, cause prochaine du courant, comme dans la pile hydro-électrique.

Les effets des machines d'induction ont, avec les décharges de la torpille, une analogie assez grande pour que l'on puisse songer à chercher un rapprochement qui expliquerait la décharge de l'animal en l'assimilant à celle des appareils d'induction. Je n'ai fait aucune expérience sur cette question, mais si l'on considère que, dans un appareil d'induction, le courant induit suppose un courant inducteur, et que le constructeur a toujours soin d'employer des substances douées d'un pouvoir isolant très-intense, on sera immédiatement arrêté dans ce rapprochement, en remarquant que tous les tissus de l'organe de la torpille sont pénétrés de liquides conducteurs.

En résumé, l'étude des décharges électriques produites par certaines espèces de poissons nous montre d'une manière frappante que les phénomènes en apparence les plus simples, les plus facilement réductibles à des conditions observées dans le monde inorganique, peuvent se présenter dans les organismes vivants avec des conditions particulièrement difficiles à analyser, et aujourd'hui encore, enveloppées d'obscurité. Nous n'en devons faire que plus d'efforts pour mettre à profit dans ces analyses difficiles les ressources que les chimistes et les physiciens nous offrent chaque jour plus nombreuses.

ARMAND MOREAU.

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS.

DOCTORAT.

M. FOUQUÉ.

Les phénomènes chimiques des volcans.

Les lecteurs de la *Revue des cours scientifiques* ont déjà trouvé dans le numéro du 21 juillet dernier, une conférence faite par M. Fouqué à l'Association scientifique sur un sujet analogue. Dans cette conférence M. Fouqué a décrit les phénomènes qui ont accompagné l'éruption volcanique dont la baie de Santorin vient d'être le théâtre au mois de février dernier, et qu'il était allé étudier au nom de l'Académie des sciences de Paris. L'année dernière M. Fouqué avait également été chargé d'aller étudier la grande éruption de l'Etna, et c'est son rapport sur les phénomènes chimiques de cette éruption qu'il a présenté comme thèse à la Faculté des sciences.

Les rapports scientifiques sont d'ordinaire très-arides et

Digitized by Google

n'intéressent guère que les savants. Il n'en est pas de même de celui de M. Fouqué. On éprouve un charme tout particulier à lire la relation de ces nombreuses observations faites au milieu d'une nature en convulsion, dont l'aspect grandiose et terrible frappe toujours l'esprit. On est heureux de voir la science aux prises avec les plus puissantes manifestations des forces naturelles, on est fier de suivre le savant intrépide dans l'étude raisonnée des réactions formidables qui se passent dans le sein de la terre, et se manifestent au dehors par les effets les plus violents.

M. Ch. Sainte-Claire Deville avait étudié l'apparition successive ou plutôt la prédominance successive des substances volatiles qui caractérisent les différentes périodes d'activité des volcans. M. Fouqué a vérifié ses observations, et de plus il en donne l'explication rationnelle (1).

L'éruption de 1865 a eu lieu sur le flanc nord-est de l'Etna; les anciens cratères, les fissures produites par les éruptions antérieures, devaient présenter des phénomènes intéressants. Le Vésuve est relié à l'Etna par une ligne qui passe par les îles Éoliennes, et qui détermine le sens d'une grande fracture de l'écorce terrestre. Deux des îles Éoliennes, Stromboli et Vulcano sont continuellement le théâtre de phénomènes volcaniques. M. Fouqué a visité tous ces endroits, multipliant ses observations et recueillant partout des gaz afin de les analyser. Après avoir visité le Vésuve, les îles Stromboli et Vulcano, il termine son exploration par une excursion autour de la Sicile. Dans ce pays agité par le feu souterrain, les sources gazeuses sont abondantes, et l'analyse de leurs gaz fournit à M. Fouqué des indications précieuses.

La première partie du mémoire de M. Fouqué est consacré à l'examen des substances, à la discussion des analyses. Dans la seconde partie l'auteur passe en revue les différentes théories qu'on a proposées pour l'explication des phénomènes chimiques des volcans. Elles sont nombreuses; on peut les diviser en deux séries. Les unes se fondent sur l'hypothèse de l'incandescence de la partie centrale du globe; d'après les autres les phénomènes volcaniques seraient le résultat de réactions chimiques puissantes qui s'accompliraient dans l'intérieur de la terre entre différentes substances mises en contact par une cause quelconque.

La simple contraction de l'écorce terrestre, par suite du refroidissement, suffit-elle pour rendre compte des éruptions volcaniques? Quelques savants ont penché pour cette opinion; mais le refroidissement de la terre étant continuel, une éruption une fois commencée ne devrait plus cesser, si telle en était la cause.

M. Perrey pense que les éruptions volcaniques doivent être attribuées aux effets des marées souterraines que le liquide igné éprouve sous l'action du soleil et de la lune. Les marées souterraines peuvent faciliter l'éruption en un moment donné, mais elles n'en sont pas la cause réelle, sans cela l'éruption durerait indéfiniment, et présenterait, comme les marées ordinaires, des changements réguliers, ce qui n'est pas conforme à l'expérience.

Tous les phénomènes s'expliquent, au contraire, si l'on admet que l'eau de la mer s'infiltre jusqu'au contact de la nappe incandescente. M. Fouqué adopte cette hypothèse, et réfute victorieusement les objections qu'on y a faites. Si cette hypothèse est vraie, on doit retrouver dans les émanations des volcans toutes les substances qu'on rencontre dans les eaux de la mer. Or, il existe dans les eaux de la mer des sels qu'on ne rencontre pas dans les émanations volcaniques, et réciproquement. Ainsi, par exemple, les sels de magnésie manquent presque complétement dans les dépôts volcaniques, malgré l'abondance relative du chlorure de magnésium dans les eaux de la mer. M. Fouqué rappelle que le chlorure de magnésium se décompose à 100 degrés en acide chlorhydrique, qui se dégage de la lave incandescente, et en magnésie qui s'incorpore dans la lave.

Que devient le sulfate de magnésie qu'on trouve dans les eaux de la mer en quantité assez considérable? Le sulfate de magnésie se trouve en présence du chlorure de sodium; sous l'influence d'une haute température et de la vapeur d'eau, ce mélange se transforme en sulfate de soude et en chlorure de magnésium qui se décompose à son tour en acide chlorhydrique et en magnésie. En remplaçant dans cette expérience le sulfate de magnésie par du sulfate de chaux, M. Fouqué a constaté qu'il se produit du sulfate de soude et du chlorure de calcium.

D'où proviennent les carbonates alcalins qu'on observe dans les émanations volcaniques et qui n'existent pas dans l'eau de la mer? M. Fouqué prouve par une expérience intéressante, qu'à une température élevée la vapeur d'eau décompose au moins partiellement le chlorure de sodium en acide chlorhydrique qui se dégage et en soude caustique qui se transforme en carbonate.

M. Fouqué explique, par des réactions chimiques, la présence ou l'absence de toutes les substances qui se trouvent dans l'eau de la mer sans se trouver dans les émanations volcaniques, et réciproquement. L'hypothèse du feu central et de l'infiltration des eaux de la mer rend donc parfaitement compte des phénomènes.

Pour compléter la discussion, l'auteur examine la deuxième série d'hypothèses, celles qui sont fondées sur la production de réactions chimiques puissantes dues au contact fortuit de diverses substances, aptes à réagir les unes sur les autres.

Pour Lémery les phénomènes volcaniques n'étaient que les effets de la réaction qui s'établit lorsqu'on mélange de la limaille de fer et de la fleur de soufre humide. L'absence presque complète du sulfate de fer dans les produits volcaniques suffit pour faire rejeter immédiatement cette hypothèse.

Gay-Lussac avait pensé qu'il pouvait exister dans l'intérieur du globe de grandes quantités de chlorures de silicium et d'aluminium, qui se décomposeraient au contact de l'eau, et produiraient ainsi un grand dégagement de chaleur. M. Fouqué calcule approximativement la quantité de chlorure de silicium nécessaire pour produire les effets d'une grande éruption: il en faudrait 66 millions de mètres cubes. Citer ce chiffre c'est condamner l'hypothèse.

On peut combattre par des raisons analogues l'hypothèse de Davy qui attribuait les phénomènes volcaniques à l'action des eaux infiltrées sur des quantités prodigieuses de sodium. De plus, cette théorie n'explique pas la présence de l'acide chlorhydrique, du sulfate et du carbonate de soude dans les émanations volcaniques. C'est donc bien réellement à l'hypothèse de l'infiltration des eaux de la mer qu'il faut demander l'explication des phénomènes chimiques des volcans.

E. FELTZ.

(1) Voyez la conférence de M. Fouqué, n° 34, p. 553.

Le propriétaire-gérant: GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE NUMÉRO 45 6 OCTOBRE 1866

MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE.

ZOOLOGIE.

(Animaux articulés.)

COURS DE M. E. BLANCHARD
(de l'Institut).

Les métamorphoses des Insectes.

I

APERÇU HISTORIQUE DES PROGRÈS DE LA SCIENCE RELATIVEMENT AUX INSECTES.

Les connaissances acquises sur les mœurs, les instincts, l'organisation, le développement des Insectes, des Myriapodes, des Arachnides, des Crustacés, ne remontent pas à une époque bien ancienne. Les plus importantes d'entre elles sont tout à fait modernes.

Dans l'antiquité, les métamorphoses des Lépidoptères, l'industrie des Abeilles, les habitudes de quelques autres espèces, avaient frappé les yeux et même l'imagination d'un petit nombre de contemplateurs de la nature. Ce fut tout. L'étude vraie, la recherche sérieuse, commencent avec le XVIIe siècle.

D'ailleurs, aux yeux des anciens, la transformation de la chenille en papillon est le changement réel d'un être en un autre être. Dans leur esprit, c'était une véritable métamorphose avec le sens des exemples que donne la Fable.

Aristote avait saisi le caractère extérieur le plus remarquable des Articulés : — un corps divisé par des incisions, ou pour parler plus exactement, un corps formé d'une suite d'anneaux. Par le nom appliqué à ces animaux, il avait exprimé le caractère. L'appellation hellénique a été littéralement traduite chez les Romains par le mot *Insecta*.

Le grand naturaliste de l'antiquité connaissait fort peu de chose de l'organisation des Insectes ; il croyait ces animaux privés de sang ; il ne savait à peu près rien de leur mode de reproduction. Cet état d'ignorance qui persista fort tard, n'embarrassait guère les premiers contemplateurs de la nature. Dès l'instant où ils ne réussissaient pas à se rendre compte de l'apparition d'une espèce, ils déclaraient que tous les individus de cette espèce s'étaient engendrés de la matière en décomposition, de la chair corrompue, du limon, etc. Ce procédé simple pour se tirer d'une difficulté, pour paraître instruit d'un sujet sur lequel on ne possède aucune notion, a été à toutes les époques fort goûté de certains auteurs.

Les adeptes des sciences naturelles, et surtout quelques anatomistes, furent les premiers à reconnaître que l'on avait suffisamment disserté sur les œuvres des anciens et qu'il fallait désormais chercher à s'instruire par l'étude la nature. Leur influence dans le mouvement intellectuel qui caractérise l'époque de la renaissance a été immense. Bien avant les philosophes, les naturalistes signalèrent la nécessité de l'observation directe, l'utilité de l'expérience, et en montrèrent aussitôt les heureux résultats. C'est en réduisant en préceptes philosophiques. leurs idées déjà mises en pratique avec succès, que François Bacon s'est acquis sa plus grande gloire et a le mieux servi la cause du progrès de l'esprit humain.

La recherche était désormais la seule vie indiquée à tous ceux qui avaient l'ambition d'apporter de nouvelles lumières. En 1651, une association était fondée à Florence pour le progrès des sciences, c'était l'Académie de l'Expérience (*Academia del Cimento*). Le désir de tout voir, de tout observer, produisit des naturalistes habiles et ingénieux. L'amour de la recherche, la passion de l'expérience, amenèrent de brillantes découvertes dans le domaine de la nature animée. Les investigateurs étaient récompensés de leurs efforts par d'immenses révélations. Les succès, faciles dans un temps où les ténèbres se dégageaient à peine, devaient remplir leur âme d'enthousiasme pour l'étude, d'une admiration sans bornes pour les merveilles de la vie des êtres.

Aucun sujet n'était capable d'exciter de plus sérieuses préoccupations que le mode de naissance et de propagation de tous ces animaux inférieurs, sur lequel les idées les plus éloignées de la vérité et de la raison étaient restées en crédit depuis l'antiquité. Aussi, de ce côté, les expériences furent poussées avec une extrême résolution.

On vit l'illustre Harvey, immortalisé par la découverte de la circulation du sang, s'adonner à de longues études sur la reproduction des Insectes et être conduit par ses laborieuses recherches sur le mode de propagation des animaux à se former cette conviction si éloignée des opinions régnantes, que tout ce qui vit provient d'un œuf : *omne vivum ex ovo*. Harvey qui naquit à Folkstone le 2 avril 1578, et mourut à Londres le 3 juin 1658, avait gagné auprès des professeurs de l'Italie, Fabrizio d'Acquapendente, Casserio et quelques autres, cet esprit d'investigation qui l'a conduit à de si beaux résultats. Il démontra la présence du sang chez les animaux que les anciens regardaient comme privés de ce fluide. Tout porte à croire que ses observations spéciales sur les Insectes étaient importantes. L'ouvrage ne nous est point parvenu. La maison du médecin de Charles Ier fut incendiée dans un jour de tourmente révolutionnaire, les manuscrits du savant furent détruits ; la populace n'a jamais respecté le génie.

L'expérimentateur qui, l'un des premiers, mit en pleine lumière le mode de reproduction de divers Insectes, est ce célèbre médecin d'Arezzo qui naquit en 1626 et mourut en

Digitized by Google

1698, Francesco Redi. L'amour de l'étude et l'amour du vrai, qui toujours se confondent, animaient l'esprit de cet illustre membre de l'Académie de la Crusca. Redi a laissé un livre contenant le récit de ses expériences relatives à la génération des Insectes. Le livre, accompagné de planches d'une belle exécution, parut à Florence en 1668. Un proverbe emprunté aux Arabes, placé en épigraphe, exprime le sentiment de l'auteur : « Celui qui fait des expériences accroît le savoir; celui qui est crédule augmente l'erreur », dit ce proverbe.

Parmi les résultats des expériences du médecin d'Arezzo, ceux qui sont le plus souvent cités sont relatifs à la naissance des Mouches dont les larves se repaissent de la chair corrompue. N'étaient-ce pas pour les crédules, gens fort dédaigneux de l'observation patiente, une preuve manifeste de génération spontanée, que la présence des *Vers* sur les viandes, sur les cadavres d'animaux ! Ces *Vers* pouvaient-ils provenir d'ailleurs que de la substance même sur laquelle on les trouvait ? Redi s'assura que la chair en putréfaction, toujours envahie par des *Vers* pendant la saison chaude si elle est exposée à l'air, est constamment à l'abri de toute atteinte de ces animaux si elle est conservée dans des vases clos. Il vit les *Vers* de la viande, ayant pris leur croissance entière, se changer en pupes, d'où sortaient de grosses Mouches bleues, vertes, noires à rayures blanches, et il vit de ces mêmes Mouches déposer leurs œufs sur la viande, et de ces œufs naître des *Vers*, ou, pour parler exactement, des larves, absolument semblables aux premières. Ainsi fut démontré, assez facilement, l'origine de ces animaux, dont les apparitions constantes semblaient être sans explication possible.

Un contemporain, un compatriote de Redi, s'est signalé dans le même temps par une étude importante d'un autre genre. Marcello Malpighi, docteur de l'Université de Padoue, né à Crevalcuore, entre Bologne et Modène, le 10 mars 1628, professeur de médecine, tour à tour à Bologne, à Pise, à Messine, puis médecin du pape Clément XII, mort à Rome le 29 novembre 1694, est l'auteur d'un travail bien connu sur le Bombyx du mûrier, qui fut publié à Londres en 1669.

Le premier, Malpighi voulut connaître l'organisation d'un Insecte sous ses états de larve et d'adulte. En Italie, le Ver à soie, en grande estime pour les biens qu'il procurait au pays, devait être choisi de préférence à toute autre espèce.

Malpighi décrivit et représenta les différents appareils organiques de la chenille et du papillon. Il reconnut la disposition des principaux centres nerveux, les particularités essentielles de l'appareil alimentaire, les formes des organes de la reproduction; il fit la découverte de l'appareil respiratoire, si caractéristique chez les Insectes, et du cœur, habituellement désigné sous le nom de vaisseau dorsal. D'un seul coup, la science avait fait un grand pas.

A cette époque, où des naturalistes de l'Italie acquéraient dans l'Europe savante une juste renommée, la Hollande avait d'infatigables investigateurs, qui devaient également arriver à une haute célébrité. Tout le monde a entendu parler du premier micrographe, Antoine de Leeuwenhoek, dont la carrière fut longue; car, né le 4 décembre 1633, il vécut jusqu'au 6 août de l'année 1723.

Leeuwenhoek avait compris que de nombreuses découvertes étaient réservées à l'observateur qui pourrait étudier les objets à l'aide de grossissements considérables. Il imagina les microscopes simples, consistant en de petites lentilles ou de petits globules de verre enchassés dans des platines d'argent, munies d'une aiguille servant de porte-objet. Le naturaliste s'était fait constructeur d'instruments, et il sut tirer bon parti de son talent manuel. Leeuwenhoek, incessamment préoccupé de l'idée de constater des faits, ne songea guère aux déductions que l'on pouvait en tirer. On se figure, en effet, les impressions de l'homme de recherche, voyant pour la première fois, dans tous les corps soumis à son microscope, des êtres ou des choses dont personne n'a encore soupçonné l'existence; le désir de porter partout son précieux instrument doit s'emparer exclusivement de son esprit. Chaque observation procurait une découverte, une révélation, une conquête. Leeuwenhoek examine du sang, il découvre les globules; le produit des organes mâles, il voit les corpuscules fécondateurs; une goutte d'eau, il en reconnaît les habitants; les êtres qualifiés d'infusoires, tout un monde. Il étudie sous le microscope les os, les dents, les muscles, le foie, la rate, etc., et il constate les traits les plus frappants de la structure intime de ces parties. Mais on était à une époque où le mode de propagation de divers animaux était beaucoup en discussion; Leeuwenhoek ne manqua point de fournir sa part d'observations sur un sujet de cette importance. On ne pouvait expliquer ni les apparitions presque soudaines, ni la prodigieuse multiplication des plus affreux parasites de l'homme; le savant Hollandais se chargea de l'explication : il avait eu l'épouvantable courage de faire l'expérience sur son propre corps.

Il est un compatriote de Leeuwenhoek qui conservera toujours une grande place dans l'histoire des sciences zoologiques, Jean Swammerdam, le plus habile investigateur de l'organisation et des métamorphoses des Insecte au XVIIe siècle. En Swammerdam apparaissent un amour de la vérité, un talent d'observation, un esprit de recherche, que l'on doit estimer d'un ordre bien élevé, quand on s'arrête par la pensée à l'état des connaissances scientifiques au temps où vivait ce naturalite. Swammerdam, né en 1637, commence sa carrière par la médecine. Des études sur l'homme et les mammifères ne l'ayant pas conduit à des résultats bien nouveaux, il songe qu'il existe une classe d'animaux dont l'organisation est encore presque inconnue. Les Insectes s'offrent à ses yeux comme un champ de découvertes ayant, pour lui, l'immensité. Les métamorphoses et l'organisation intérieure des Insectes l'occupent désormais d'une manière toute spéciale. En 1669, il met au jour une *Histoire générale* de ces animaux. Le but principal de l'auteur est de montrer par des expériences combien sont fausses les idées reçues relativement aux transformations des Insectes. On en était encore aux opinions des anciens.

L'expérimentateur, afin de s'assurer si les parties de la chenille et du papillon étaient parfaitement les mêmes, avait coupé une ou plusieurs pattes sur des chenilles; les papillons étaient nés avec autant de pattes en moins qu'on en avait coupé sur les chenilles. Ainsi, plus de doute sur un point essentiel : l'Insecte, chenille et papillon, était un individu à différentes époques de son existence. A la vérité, tout n'était pas éclairci par cette démonstration. L'auteur, avec ses contemporains, croyait que toutes les parties de l'adulte existent déjà *en petit* chez le jeune. Si les formes, pendant le jeune âge, étaient autres que chez l'adulte, c'était un masque, *larva*. Une première vérité était dévoilée; la vérité entière ne devait apparaître qu'à une époque encore bien éloignée.

En 1675, Swammerdam publie une histoire de l'Éphémère. L'ingénieux naturaliste avait compris l'extrême intérêt atta-

Digitized by Google

ché à l'étude d'une espèce aux différentes phases de son existence. Il sut montrer les changements les plus notables qui s'opèrent pendant les transformations d'un Insecte des plus remarquables par la diversité de ses conditions biologiques sous les états de larve et d'adulte.

Swammerdam, toujours ardent pour les recherches, continua à poursuivre de magnifiques travaux qui n'ont échappé à la destruction que par une sorte de miracle. Après avoir, comme Malpighi, reconnu l'existence du cœur chez les Insectes et les traits les plus frappants de cet organe; après avoir constaté les caractères généraux des principaux systèmes organiques; ayant exécuté de nombreux dessins et rédigé un vaste ouvrage, véritable monument scientifique, il tomba dans le dénûment. L'esprit de cet homme malheureux, pendant des années en perpétuelle extase devant les merveilles de la création qu'il savait si bien découvrir, se troubla. En 1680, à peine âgé de quarante-trois ans, Swammerdam mourut dans l'isolement et presque ignoré.

Cinquante ans plus tard, Boerhaave, ce médecin parvenu à une des plus hautes renommées et arrivé à une immense fortune, achetait les manuscrits et les dessins de Swammerdam, et bientôt après (1737), il publiait à ses frais le vaste ouvrage que l'auteur avait voulu appeler le Livre de la nature : *Biblia naturæ*. Boerhaave assura ainsi à son pays une de ses gloires les plus nobles.

Les espèces indigènes avaient été le sujet de toutes les études des auteurs dont nous venons de rappeler les principaux titres. Voir les transformations des belles et grandes espèces de l'Amérique du Sud, pouvait être une véritable tentation. Cette tentation s'empara de l'esprit d'une femme.

Marie Sibylle de Mérian, née à Francfort le 12 avril 1647, mariée en 1667 à un graveur de Nuremberg du nom de Graff, s'était passionnée dès sa jeunesse pour l'histoire naturelle et en particulier pour l'observation des métamorphoses des Insectes. Séparée de son mari et établie en Hollande, ce pays où la zoologie était cultivée au XVIIe siècle avec tant de succès, Sibylle de Mérian rêva d'aller peindre les chenilles des brillants Lépidoptères et les larves des grands Coléoptères de Surinam. Le projet fut bientôt réalisé. Accompagnée de ses deux filles, elle partit pour Surinam en 1669 et y fit un séjour de trois années. Le produit de ce voyage a été un beau livre in-folio, publié en 1705 et intitulé : « La métamorphose des » insectes de Surinam; ouvrage où les chenilles et les vers de » Surinam sont dessinés et décrits dans toutes leurs transfor- » mations, d'après le vivant, et représentés avec les plantes » sur lesquelles ils ont été trouvés. »

Sibylle de Mérian mourut à Amsterdam, le 13 janvier 1717.

Son ouvrage qui eut de nombreux admirateurs peut encore être consulté de nos jours avec quelque profit.

Des connaissances déjà importantes sur le mode de reproduction et sur l'organisation des Insectes étaient acquises. Sur les mœurs, les instincts, les métamorphoses de la plupart de ces animaux, on n'avait encore que des notions peu étendues. Mais, en 1683, naissait à la Rochelle un homme qui devait contribuer d'une manière éclatante au progrès de l'histoire des Insectes. Cet homme était Ferchault de Réaumur, l'auteur d'une foule de travaux sur les sujets les plus variés.

En 1703, à l'âge de vingt ans, Réaumur vient à Paris, où bientôt, par l'intermédiaire de son parent, le président Hénault, il est mis en relation avec les principaux savants de l'époque. Des études mathématiques occupent d'abord le jeune homme, et la publication de quelques mémoires de géométrie lui ouvre, dès 1708, les portes de l'Académie des sciences. Presque aussitôt Réaumur abandonne les mathématiques et semble tout particulièrement attiré vers l'histoire naturelle. Il se livre à des recherches sur l'accroissement des coquillages, sur la soie des Araignées, sur les mouvements des Mollusques et des Zoophytes, sur la formation des perles, etc. Il entreprend des expériences sur la digestion, qui jettent d'assez vives lumières à l'égard de cette fonction pour faire regretter que l'auteur n'ait pas eu l'inspiration qui, plus tard, devait tant illustrer le nom de Spallanzani.

Au commencement du XVIIIe siècle, l'idée des applications de la science à l'industrie électrisait les investigateurs. Réaumur fut conduit ainsi à s'occuper de l'art du cordier, de l'art du tireur d'or, de la suspension des voitures, à publier un traité sur l'art de convertir le fer en acier, après avoir découvert des procédés de fabrication dont la valeur a été longtemps méconnue (1). Il fit ensuite un mémoire sur la porcelaine, et il donna un moyen pour faire du verre blanc. En 1731, il avait imaginé la graduation du thermomètre qui, plus que ses magnifiques travaux scientifiques, a rendu son nom populaire.

Cependant, ce chercheur infatigable, stimulé par des sujets de tous les genres, s'était épris de l'étude des métamorphoses, des instincts, des mœurs des Insectes. Après avoir inséré quelques mémoires particuliers dans le *Recueil de l'Académie des sciences*, il pensa que ses nombreuses observations sur les Insectes, réunies en un corps d'ouvrage, se montreraient dans leur jour le plus favorable. Six volumes, publiés de l'année 1734 à l'année 1742, composèrent ainsi la vaste publication portant le titre modeste de *Mémoires pour servir à l'histoire des Insectes*. L'auteur avait plus de cinquante ans lorsqu'il commença cette publication, bien faite pour rendre son nom impérissable. Il avait étudié dans le silence, jusqu'au moment où il eut amassé un énorme ensemble de faits intéressants. Réaumur, déjà riche de sa gloire acquise par d'autres travaux, favorisé d'une situation indépendante, n'était sollicité par aucune considération à produire ses brillantes recherches sur les Insectes avant l'heure qu'il avait fixée lui-même.

De nombreuses relations lui procuraient une quantité d'objets d'étude, et le naturaliste avait disposé dans son cabinet des boîtes grillées, des cloches, de petites volières, où il pouvait épier aisément les manœuvres et les transformations d'une foule d'Insectes. Passant une partie de l'année à Conflans, dans le voisinage de Paris, à une époque où les environs de la capitale pouvaient encore être appelés la campagne, il était dans les conditions les plus heureuses pour observer nos espèces indigènes.

Les mémoires de Réaumur ont bien puissamment contribué aux progrès de l'histoire naturelle. On y reconnaît partout la profonde sagacité et la patience inébranlable de l'observateur. Jamais les moindres détails n'avaient été aussi scrupuleusement examinés. Le nombre immense de faits recueillis par un seul homme étonne, et l'étonnement se change en

(1) « Il est inconcevable comment cet habile métallurgiste (Réau- » mur) a su découvrir et développer la théorie de l'acier, et l'on ne » sait ce que l'on doit le plus admirer, ou de la sagacité et de la rectitude » d'esprit de l'illustre savant, ou de la stupidité des fabricants d'acier » qui sont restés si longtemps sans les comprendre ». (Landrin fils, *Traité de l'acier*, p. 80, 1859.)

Digitized by Google

admiration pour l'auteur quand on s'est rendu compte de la fidélité avec laquelle ils sont exposés. Ici, tout est vrai, et l'intérêt du récit est si grand, qu'on croirait pouvoir en faire honneur à l'imagination, si l'on ne savait l'imagination humaine incapable d'atteindre aux merveilleuses réalités de la nature.

Aux yeux de tous ceux qui se sont voués à l'étude, l'ouvrage de Réaumur est un chef-d'œuvre, et l'on se demanderait comment ce chef-d'œuvre, où tant de pages sont consacrées à la narration des phénomènes les plus curieux de la vie des animaux, n'est pas connu de tout le monde; comment de telles pages n'ont pas acquis la popularité des descriptions de Buffon, si l'explication n'était facile. La forme brillante, l'élévation, l'élégance, qui font admirer le style de Buffon, ne se rencontre pas dans les écrits de Réaumur. Dominé par le désir de tout rapporter avec une extrême exactitude et de n'omettre aucun détail, l'auteur des *Mémoires sur les Insectes* est lent dans son récit, et cette lenteur ne fait pas toujours rayonner la clarté.

Réaumur n'était pas remarquablement pénétré des avantages de la méthode; les espèces dont il raconte l'histoire avec une entière fidélité ne sont presque jamais désignées d'une manière précise; les différentes parties du corps des êtres dont il parle sont signalées par des descriptions quelquefois assez obscures. La rigueur et la simplicité des termes scientifiques n'étaient pas de son temps.

Si les mémoires sur les Insectes n'eurent pas ce vaste retentissement qu'on nomme la popularité, ils reçurent l'accueil qu'ils méritaient de la part des hommes éclairés; ils excitèrent chez quelques-uns l'admiration et une sorte d'enthousiasme pour les recherches sur les animaux qui offrent le spectacle des instincts les plus curieux. Ainsi, Charles de Geer, maréchal de la cour de la reine de Suède. conçoit l'ambition d'être le continuateur de Réaumur, et il donne une longue suite de mémoires auxquels une grande estime est accordée. Ces mémoires, publiés de 1752 à 1778, ne forment pas moins de sept volumes accompagnés de planches.

Le baron de Geer, né le 10 février 1720, mort le 8 mars 1778, écrivant à une époque où la langue française était souvent employée par les savants étrangers, adopta pour l'exposition de ses recherches la forme et le plan de l'ouvrage de notre illustre compatriote. A son début, il salue en ces termes celui qui a été son guide : « Je ne saurais me dispenser » de dire que personne n'a égalé, dans la science des In- » sectes, l'illustre M. de Réaumur, qui fait l'admiration de » toute l'Europe savante, et qu'un auteur (M. Bonnet) a » nommé, à juste titre, l'ornement de la France et de son » siècle. » De Geer était venu glaner à la suite d'un investigateur d'une habileté consommée; ses mémoires ne pouvaient avoir la plupart un intérêt aussi considérable que ceux de son prédécesseur. Il eut le mérite cependant d'apprendre encore un grand nombre de faits sur les métamorphoses et les mœurs des Insectes, de nommer et de décrire plus exactement que Réaumur les espèces qui avaient été l'objet de ses recherches.

Au milieu du XVIIIe siècle, un service éclatant et d'un tout nouveau genre fut rendu à la science. Pierre Lyonnet, né à Maëstricht le 21 juillet 1706, secrétaire interprète des États généraux de Hollande, mort le 7 janvier 1789, s'était épris, comme de Geer, des travaux de Réaumur. Il s'adonna à la poursuite d'observations sur les mœurs et les métamorphoses des Insectes. Mais, après la joie d'avoir constaté des détails encore ignorés, Lyonnet eut la déception de se voir devancé par d'autres, et surtout par de Geer, Il prit alors en dégoût les recherches qu'il avait commencées, et conçut l'idée de faire, dans le silence, un travail que nul, sans doute, ne songerait à entreprendre, que nul surtout, bien probablement, ne réussirait à exécuter, s'il y avait songé. Convaincu par ses premières études que l'organisation des Insectes présentait une richesse, une complication dont personne n'avait même le soupçon, il se mit à l'œuvre avec la ferme volonté d'en offrir une magnifique démonstration. Lyonnet a pris soin de nous informer du motif qui avait stimulé son ardeur, « car, » dit-il, me serais-je imaginé qu'un mouvement aussi ignoble » que celui du dépit eût pu produire cette espèce de résolu- » lution et me faire entreprendre et finir un ouvrage aussi » pénible que celui-ci. C'est pourtant ce qui est arrivé ».

L'étude de la Chenille du saule par Lyonnet a été appelée par Cuvier « le chef-d'œuvre de l'anatomie et de la gravure ». Lyonnet a travaillé avec l'unique ambition de faire connaître l'organisation d'un Insecte jusque dans ses moindres détails. Les parties extérieures, les muscles, les nerfs, les trachées, l'appareil digestif, ont été étudiés avec le soin le plus scrupuleux et toute l'habileté imaginable. Nous sommes loin ici de l'ébauche que Malpighi a donné de l'anatomie du ver à soie.

C'était une grande chose pour le progrès de la zoologie de montrer qu'un Insecte, une chenille, un animal réputé inférieur, possédait une organisation extrêmement complexe. Un semblable travail portant sur une seule espèce et sur un seul état de cette espèce ne pouvait alors, en l'absence de termes de comparaison, conduire à des aperçus généraux.

Toutes les parties de la Chenille du saule ont été non-seulement décrites, mais encore représentées avec une étonnante perfection. Il est impossible d'être un véritable anatomiste sans avoir acquis quelque habileté dans l'art du dessin. Lyonnet avait cette habileté, et il jugea indispensable d'acquérir un talent d'un autre genre. Il a gravé lui-même les planches magnifiques qui accompagnaient son ouvrage. Pendant plusieurs années, il s'est livré à des essais qu'il communiquait à divers savants afin d'avoir leur opinion sur son talent dans l'art de la gravure. C'est après ce pénible apprentissage qu'il exécuta les planches qui n'ont cessé de faire l'admiration des savants et des artistes.

Charles Bonnet (de Genève), philosophe et naturaliste, né en 1720, mort en 1793, occupe aussi une place dans l'histoire du mouvement scientifique du XVIIIe siècle. On lui doit des expériences sur la respiration des chenilles, sur les appendices de ces Insectes et les recherches plus importantes sur le mode de reproduction des Pucerons. Ces recherches, auxquelles Bonnet doit, en grande partie, la célébrité de son nom, ont appris l'un des faits les plus singuliers relatifs à la propagation des êtres.

Mais il est encore un observateur que l'on ne saurait oublier. François Huber, de Genève, comme Charles Bonnet, né le 2 juillet 1750, mort le 22 décembre 1831, le célèbre historien des abeilles. Celui-ci eut le mérite de constater la plupart des faits remarquables de la vie de l'Abeille, l'Insecte intéressant parmi les plus intéressants, mais aussi le plus difficile à observer. Huber a les sympathies entières de ceux qui connais-

Digitized by Google

sent son œuvre et son infortune. Il était aveugle depuis sa jeunesse, et une telle affliction ne l'a pas empêché de se consacrer avec un incomparable succès à l'étude d'un sujet demeuré obscur pour les yeux des plus clairvoyants. Il avait trouvé ce qui lui manquait dans la personne d'un domestique dévoué, devenu bientôt un intelligent collaborateur. Huber, possédant un esprit d'investigation peu commun, d'ingénieuses idées pour l'expérience et les yeux d'autrui, a réussi à composer la plus fidèle histoire de ces curieuses sociétés de l'Insecte qui produit le miel et la cire. Son ouvrage (1792) est encore aujourd'hui le *livre* de tous ceux qui s'occupent des Abeilles.

Le fils de l'auteur des *Nouvelles observations sur les Abeilles*, Pierre Huber, a continué l'œuvre de son père, et à son tour il s'est placé au rang des plus patients et des plus habiles observateurs, par des études sur les mœurs des Bourdons et des Fourmis.

Lorsque l'on songe au nombre prodigieux des animaux articulés : Insectes, Arachnides, Crustacés, répandus sur notre globe, on imagine à peine qu'on puisse arriver à la connaissance de tant d'animaux. L'étude d'un pareil monde semble devoir effrayer l'esprit le plus ferme et le plus entreprenant. Longtemps on ne crut guère à la possibilité de connaître exactement dans leurs caractères, dans leurs habitudes, dans leurs métamorphoses, dans leur organisation, tous ces êtres, ayant pour la plupart des dimensions fort exiguës. Aujourd'hui cependant on est bien avancé à cet égard, et la difficulté d'acquérir des notions très-précises sur ce monde est devenue moins considérable qu'on ne pourrait le supposer au premier abord.

Pour parvenir à un aussi beau résultat, la coopération d'une foule d'hommes d'aptitudes diverses a été nécessaire; le labeur a dû être immense, le talent de l'ordre le plus élevé a dû souvent se manifester. Rien de cela n'a manqué. La science s'est constituée; les comparaisons ont conduit à de justes appréciations; les généralisations alors ont été possibles; la méthode a été créée.

La méthode imaginée dans le but de bien conduire sa raison, suivant la belle expression de Descartes, en permettant de classer heureusement les faits, de grouper les idées, de distinguer ce qui est général de ce qui est particulier, a fourni le moyen de rendre simple et attrayante l'étude d'un sujet dont l'étendue est sans limites.

En histoire naturelle, s'agit-il d'ordre, de méthode, de classification, le nom de Linné se présente aussitôt rayonnant d'un éclat que le temps ne saurait diminuer.

Un naturaliste de l'Angleterre, Jean Rai, avait compris la nécessité de distribuer les animaux d'une manière méthodique; mais Linné, le premier, a disposé par classes, ordres et genres, le Règne animal aussi bien que le Règne végétal. Dans la pensée du célèbre naturaliste suédois, la classification avait pour unique but de conduire aisément à la détermination de chaque espèce. Le caractère le plus apparent, commun à un groupe d'espèces, devait être choisi sans préoccupation de la recherche de caractères pouvant avoir plus d'importance. Linné, classant les végétaux d'après le nombre des étamines, sans s'inquiéter si la conformité dans le nombre de ces organes n'amenait pas le rapprochement de plantes fort différentes sous tous les autres rapports, si la diversité du nombre des étamines ne se rencontrait point chez des plantes très-voisines les unes des autres par l'ensemble de leur structure, avait réalisé son idéal.

Les classifications de ce genre ont reçu le nom de systèmes ou de méthodes artificielles, mais l'auteur du *Systema naturæ*, n'ayant pas rencontré chez les Animaux un caractère simple pour grouper les espèces, il fut souvent conduit, par la force des choses, à les classer selon leur degré de ressemblance, et à se rapprocher ainsi de ce que l'on devait appeler bientôt la méthode naturelle.

Linné a dressé l'inventaire de la nature dans les limites où on la connaissait de son temps; il a été presque le créateur des classifications, il a su attribuer à chaque espèce une désignation précise, il a introduit la nomenclature la plus parfaite qui ait été imaginée. L'influence de Linné sur la marche de la science a été immense.

Le naturaliste de la Suède avait à peine achevé son œuvre, que notre illustre botaniste Laurent de Jussieu, élevant sa pensée à une hauteur plus grande, s'attachait à apprécier l'importance relative des caractères fournis par toutes les parties des végétaux, et groupait les espèces d'après la somme de leurs ressemblances. Il fut conduit ainsi à reconnaître les divisions qui réunissent le mieux les représentants des formes typiques, divisions qui ont été appelées les *familles naturelles*.

La méthode qui, au XVIIIe siècle, donna à la botanique un si beau lustre, ne tarda pas à être appliquée en zoologie.

Latreille, qui naquit à Brive le 29 novembre 1762 et mourut le 6 février 1833, membre de l'Institut et professeur au Muséum d'histoire naturelle, disposa les Insectes d'après les principes de la méthode de de Jussieu, dans un écrit publié à Brive en 1796, portant pour titre : *Précis des caractères génériques des Insectes disposés dans un ordre naturel par le citoyen Latreille.*

C'était un premier essai; quelques années plus tard, un nouvel ouvrage du même auteur offrit une exposition si exacte des caractères des Insectes, des Arachnides et des Crustacés, et presque toujours une si juste appréciation des affinités naturelles de ces animaux, que les recherches toutes modernes n'ont amené de ce côté qu'à des rectifications d'ordre secondaire. Pour une branche de la zoologie, Latreille est à jamais le véritable auteur de la partie méthodique. Étranger aux études anatomiques et physiologiques, bornant ses recherches aux parties extérieures, il a montré dans la plupart des circonstances une habileté consommée, un tact merveilleux.

Dans la période où les travaux relatifs à la classification et a la méthode avaient, en l'état de la science, une importance de premier ordre, Georges Cuvier est venu apporter une vue qui n'était pas encore entrée dans l'esprit des classificateurs. L'illustre naturaliste s'est peu occupé des êtres dont nous avons ici à tracer l'histoire, mais ses travaux, ses idées, ont exercé une influence générale sur la zoologie. Cuvier a reconnu que tous les animaux se rattachaient à quatre types principaux; toutes les investigations ultérieures ont fourni des preuves que c'était une vérité. Cuvier a établi ce grand fait que la classification devait être la représentation fidèle des ressemblances et des dissemblances dans l'organisation entière des animaux ; c'était laisser bien en arrière le temps où la classification avait simplement pour objet de conduire à la classification des espèces.

Au commencement de notre siècle, l'idée d'une unité de plan d'organisation chez les animaux s'était manifestée. Par

Digitized by Google

quelques-uns l'idée fut adoptée avec enthousiasme, comme une nouvelle lumière conduisant à voir la création dans toute sa grandeur. Étienne Geoffroy Saint-Hilaire, occupé particulièrement des Vertébrés, en fut le promoteur principal et l'énergique défenseur, s'appliquant sans relâche à fournir des preuves à l'appui de cette doctrine, les produisant avec plus ou moins de bonheur, mais toujours au profit très-réel de la marche de la science.

Un autre savant, de Savigny, s'empara de l'idée comme bonne, et en fit une admirable application aux Animaux articulés.

De Savigny, né à Provins le 17 avril 1777, se trouva, à l'âge de vingt et un ans, l'un des membres de cette commission scientifique, attachée à l'expédition conduite par le général Bonaparte, qui aborda le 1er juillet 1798 sur la plage d'Alexandrie. Deux zoologistes étaient chargés d'étudier les animaux de cette antique Égypte, restée si grande dans le souvenir des peuples, Geoffroy Saint-Hilaire et de Savigny. Le partage des attributions fut bientôt réglé entre les deux jeunes savants; c'était le partage de la nature elle-même. Le premier eut à s'occuper des Vertébrés, le second des Invertébrés.

Lorsque l'empereur Napoléon, qui recherchait pour son pays tous les genres de gloire, conçut la pensée de faire de la relation des travaux exécutés sur la terre d'Égypte un ouvrage d'une magnificence jusqu'alors inconnue, de Savigny observa toutes les parties extérieures des Animaux articulés avec un soin minutieux que nul encore n'avait apporté dans de semblables études. Les représentations qu'il a données des plus petits détails sont de véritables chefs-d'œuvre. Il est impossible, en contemplant ces images si fidèles, de ne pas se trouver pénétré d'admiration pour le talent de l'observateur, de ne pas être saisi d'un sentiment de respect pour l'auteur dont la conscience ne s'abandonne jamais à la moindre défaillance dans des recherches si difficiles, dont personne de son temps peut-être ne comprendra tout le prix.

Si nous avions ici à démontrer que le naturaliste n'arrive à des généralisations vraies, ne s'élève à des vues d'ensemble d'une portée réelle, qu'après l'étude et la comparaison de tous les détails, de Savigny devrait être cité en exemple. Le savant, en effet, que nous avons vu animé de la volonté inébranlable de tout reproduire avec une scrupuleuse exactitude, se trouva bientôt frappé d'un grand fait général. Les Insectes, les Crustacés, se montrèrent à son esprit comme des animaux toujours construits sur le même plan et pourvus abondamment des mêmes appendices.

Tel insecte, disait-on, a des mandibules et des mâchoires, tel autre a une trompe, tel autre a un suçoir, etc. De Savigny comparant les pièces dans leurs rapports entre elles, dans leurs connexions, suivant le langage de la science, reconnut dans la bouche de tous les Insectes des appendices en pareil nombre, conservant les mêmes rapports, quelle que soit la diversité de leurs formes et de leurs usages. Les changements qui s'opèrent dans la constitution d'un Lépidoptère passant de l'état de chenille à l'état de papillon fournirent à l'auteur une nouvelle preuve de l'adaptation d'organes semblables aux conditions biologiques des animaux. La bouche des Crustacés présentant d'ordinaire dans sa composition un nombre de pièces plus considérable que celle des Insectes, cette circonstance le conduisit à reconnaître que des pattes peuvent être converties en mâchoires et que les appendices de tous les animaux articulés sont absolument de la même nature.

Les deux mémoires de Savigny, présentés à la première classe de l'Institut en 1814 et 1815, et publiés en 1816, sous le titre de *Théorie des organes de la bouche des Animaux invertébrés et articulés, compris par Linné sous le nom d'Insectes*, marquent véritablement une époque.

En exposant avec une clarté admirable la réalité entière sur les *homologies* et les transformations des appendices des Articulés, de Savigny a servi puissamment le progrès de la science, il a mis en pleine lumière une grande vérité, il a rendu simple et évident ce qui était rempli d'obscurité et d'embarras pour tous les esprits, il a révélé une belle page de l'histoire de la création.

De Savigny, l'observateur exact et patient, le théoricien brillant, le penseur profond, a été de bonne heure bien tristement arrêté dans la carrière qu'il suivait avec tant d'éclat. Atteint d'une affection des yeux, les vingt-sept dernières années de sa vie se sont écoulées dans une nuit perpétuelle avec d'horribles souffrances physiques et morales. Marie-Jules-César Le Lorgne de Savigny, membre de l'Institut depuis le 30 juillet 1821, est mort le 5 octobre 1851.

Les idées qui régnaient au XVIIe et au XVIIIe siècle sur les métamorphoses des animaux s'étaient bien modifiées dans l'esprit des naturalistes, déjà éclairés par les recherches anatomiques. On n'en était plus à croire que toutes les parties d'un être existaient déjà sous une forme très-réduite, dès les premiers moments de sa formation. On savait positivement que des organes existant à une époque de la vie disparaissaient parfois en totalité, et que se constituaient de nouveaux organes à des périodes plus ou moins avancées du développement de l'animal. Les faits vraiment acquis à la science étaient rares encore, mais tout tendait à pousser les zoologistes vers une voie de recherches qui semblait promettre d'importantes découvertes : l'étude des embryons, l'étude du développement des animaux.

Un professeur de l'Université de Marbourg, Moriz Herold, donna en 1815 l'histoire du développement d'un Lépidoptère : la Piéride du chou. Les changements qui se produisent dans l'organisation de l'Insecte depuis l'état de chenille jusqu'à l'état de papillon, avaient été suivis jour par jour. Dès ce moment, il fut possible de concevoir une idée nette de la nature des métamorphoses des Insectes.

On doit au même auteur des recherches plus récentes sur la formation dans l'œuf de l'embryon des Araignées et des Insectes : beaucoup de faits constatés; beaucoup d'erreurs d'interprétation. Le moment était venu où les investigations sur les premières phases du développement des animaux allaient prendre une extrême importance; les zoologistes avaient appris que chez tous les êtres les organes apparaissent successivement, que ces organes subissent bien des changements avant d'être constitués comme on les trouve chez les adultes. Le titre seul d'un mémoire publié en 1817, par un professeur de Munich, C. Pander, suffit à indiquer le mouvement scientifique qui se manifestait. *Histoire de la métamorphose que subit l'œuf de la poule pendant les cinq premiers jours de l'incubation*, tel était le titre de l'ouvrage.

Deux naturalistes de l'Allemagne, Rathke, professeur à Kœnigsberg, mort en 1860, et M. de Baer, depuis longtemps professeur à Saint-Pétersbourg, ont pris une part immense au mouvement qui, en moins d'un demi-siècle, a donné d'admirables résultats. M. de Baer, guidé par les vues de l'ordre le plus élevé, porta ses investigations sur les principaux types du

Digitized by Google

Règne animal, et reconnut que la marche du développement n'était pas la même dans ces divers types. Au début de la formation embryonnaire, tout semble pareil chez le Vertébré, l'Insecte, le Mollusque, mais des différences essentielles ne tardent pas à se prononcer entre ces animaux; M. de Baer a été conduit par ses recherches d'embryogénie à reconnaître dans le Règne animal quatre formes principales. C'était une confirmation éclatante des idées de Cuvier. Les voies avaient été complétement différentes ; le résultat était identique.

Les observations de M. de Baer, publiées de 1827 à 1828, n'eurent pas d'abord le retentissement qu'elles méritaient. Mais il y a dans les sciences des instants où une question occupe les esprits, où les chercheurs agissent sous l'empire d'une idée, chacun croyant être seul à la posséder. Ainsi, M. Milne Edwards poursuivant des recherches sur les Crustacés, dans l'ignorance des travaux de M. de Baer, arrivait à des résultats concordants avec ceux de ce savant. M. Milne Edwards s'était assuré que pendant la première période du développement, la ressemblance était à peu près complète entre toutes les espèces appartenant à un même type, qu'entre des espèces fort dissemblables à l'état adulte, les distinctions se manifestent progressivement jusqu'au moment où les individus ont pris d'une manière définitive leur cachet spécifique. C'est en 1829 que M. Milne Edwards a énoncé ce fait d'une haute importance pour la zoologie.

Des connaissances précises sur les premières phases du développement des êtres devaient achever de faire disparaître des idées absolument fausses relativement aux relations des différentes formes du règne animal. Pendant longtemps on s'était complu dans la croyance à une série de dégradations insensibles et régulières de l'homme à l'éponge, l'échelle des êtres de Leibnitz et de Bonnet. De là, à imaginer d'après quelques apparences, que les formes des animaux inférieurs représentaient exactement les formes embryonnaires des animaux supérieurs, il n'y avait qu'un pas. L'étude profonde et comparative de l'organisation des animaux adultes eût été suffisante pour montrer combien ces vues de l'esprit dans leur généralité s'accordaient mal avec la réalité, les recherches sur le développement des principaux types du règne animal ont obligé à les regarder comme des rêves de l'imagination et à certains égards comme des résultats d'observations superficielles.

Depuis trente-cinq ans, les zoologistes se sont beaucoup appliqués à observer les Animaux articulés dès le moment de leur naissance, et parfois à les étudier dans l'œuf. Les lumières que ces recherches ont jetées sur les affinités naturelles de plusieurs types sont saisissantes. Les affinités et la condition d'un assez grand nombre de types étudiés seulement dans la forme adulte ou dans une période de leur existence avaient été entièrement méconnues. L'observation de ces mêmes Animaux, au sortir de l'œuf et dans les diverses phases de leur vie, a amené souvent une véritable révélation. Les exemples en seront rapportés dans le cours de cet ouvrage ; ce sera l'occasion de mentionner les auteurs de nombreuses découvertes dont nous ne pouvons faire l'énumération dans un simple aperçu historique.

En présence de résultats concluants souvent obtenus par la considération des caractères de l'animal dans son premier âge, d'éminents zoologistes se sont aisément persuadés que l'on était désormais en possession d'apprécier dans toutes les circonstances et avec une parfaite certitude la nature des êtres, les rapports naturels de chaque type. Aussi les classifications présentées d'après cet ordre d'idées ont été nombreuses. MM. Agassiz et van Beneden, entre autres, ont eu d'heureuses inspirations. Nulle part encore l'idéal n'a été atteint. Le développement embryonnaire n'est point connu jusqu'ici d'une manière suffisante dans tous les types du règne animal, pour fournir les lumières qu'à la vérité nous sommes en droit d'attendre du progrès de la science.

Les phénomènes les plus apparents ne pouvant manquer de fixer tout de suite l'attention des observateurs, les phénomènes difficiles à saisir sont souvent considérés comme étant relativement de peu d'importance. C'est là une cause d'erreur assez fréquente.

Il existe des animaux qui subissent des métamorphoses complètes, d'autres qui n'éprouvent que des changements peu considérables, depuis leur naissance jusqu'à leur état adulte. La différence est frappante ; souvent, néanmoins, elle existe entre des types liés entre eux par les plus grandes ressemblances dans l'ensemble de l'organisation.

L'Insecte de l'ordre des Coléoptères, le Hanneton, le Capricorne, naît dans un état embryonnaire très-peu avancé; en naissant il a l'aspect d'une sorte de Ver.

L'Insecte de l'ordre des Orthoptères, la Sauterelle, le Perce-Oreille, au sortir de l'œuf, ressemble aux adultes, il ne subit point de véritables métamorphoses. Cependant, par tous les détails de leur organisation, le Coléoptère et l'Orthoptère n'offrent que des différences d'ordre secondaire. Le Coléoptère a des relations bien plus étroites avec l'Orthoptère qu'avec le Lépidoptère, auquel il ressemble par son mode de développement.

Parmi les Crustacés, il y a des exemples de différences analogues dans la marche du développement, et ces exemples sont encore bien plus saisissants.

Certains Crabes, observés vers le moment de leur naissance, s'étaient montrés presque semblables à leurs parents, on avait conclu de ce fait que les Crabes en général ne subissaient pas de métamorphoses. On savait, d'autre part, que l'Écrevisse naît avec les formes de l'adulte ; de ce fait, ajouté au précédent, on avait conclu que les Crustacés, au moins les plus élevés en organisation, n'éprouvent aucun changement notable dans le cours de leur existence. C'est le contraire qui est la vérité pour le très-grand nombre des représentants de ce groupe zoologique. Un naturaliste de l'Écosse, John Vaughan Thompson, a le premier rapporté une suite d'observations intéressantes sur ce sujet. Des recherches récentes nous ont fait connaître les transformations dans une foule de genres de la classe des Crustacés.

Ces animaux, pour la plupart, passent donc par des formes successives, tandis que quelques-uns d'entre eux présentent à peine de légères modifications dans leurs appendices. Une différence aussi considérable n'est nullement l'indice d'organisations particulières.

La Langouste, dans son premier âge, est un être tout différent de l'adulte ; au contraire, le Homard en sortant de l'œuf est un animal presque pareil à ses parents. Néanmoins, la Langouste et le Homard, ayant la même organisation générale, demeurent les représentants de deux familles voisines.

Ces faits sont loin de diminuer l'importance que les zoologistes de nos jours attachent à la connaissance des phases du développement des animaux. Ils attestent une chose, la néces-

Digitized by Google

sité de se rendre compte exactement de la nature des phénomènes observés.

Tous les animaux d'une même classe, d'un même ordre, quelquefois d'une même famille, ne naissent pas ayant un semblable degré de développement. Chez les uns, le développement s'effectue presque en entier dans l'œuf. Ici, il n'y a pas de métamorphoses, pas de transformations, mais seulement un accroissement, et à une époque déterminée, l'apparition des organes de la reproduction. Chez les autres, le développement qui s'effectue dans l'œuf s'arrête de bonne heure, l'animal naît à l'état d'embryon, à l'état de larve, et là, suivant que l'état embryonnaire est plus ou moins avancé, il y a des changements successifs plus ou moins considérables, de véritables métamorphoses. Dans l'étude de deux types, il est donc toujours nécessaire de faire porter les comparaisons sur des individus qui sont dans la même période de leur développement organique, et non pas, d'après leur âge calculé, de l'instant de leur naissance. Ces vues, pour n'avoir encore été nulle part très-clairement exposées, n'en sont pas moins senties de nos jours par divers naturalistes.

Si depuis une quarantaine d'années, les études sur le développement des animaux articulés ont enrichi la science d'un grand nombre de faits d'un haut intérêt, les recherches sur l'organisation de ces mêmes animaux ont fourni des résultats encore plus considérables.

MM. Victor Audouin et Milne Edwards, par leurs travaux sur le système nerveux et la circulation du sang chez les Crustacés, ont apporté les premiers des connaissances exactes sur ce sujet où les notions précédemment acquises étaient fort imparfaites et souvent entachées d'erreurs.

Un anatomiste, consciencieux, patient, et habile à représenter par le dessin les objets qu'il avait étudiés, Straus-Durckheim, né à Strasbourg en 1790, mort à Paris en 1865, l'auteur bien connu d'une magnifique monographie anatomique du Hanneton, publiée en 1828, a découvert la structure du cœur ou vaisseau dorsal des Insectes et il a donné les plus belles figures que nous possédions encore, des muscles et de l'appareil respiratoire d'un Insecte.

Dans le même temps, un professeur de Dresde, M. Carus, a démontré l'existence de la circulation du sang chez les Insectes.

Un savant, recommandable par ses nombreux travaux sur l'anatomie, sur les mœurs et les métamorphoses des animaux de la même classe, Léon Dufour, né à Saint-Sever (Landes) en 1782, mort le 8 avril 1865, a fourni à la science pendant une période de plus de cinquante années une multitude d'observations intéressantes.

Un des naturalistes de l'époque moderne, dont les recherches ont contribué particulièrement aux progrès récents de nos connaissances sur les Articulés, est George Newport. Les travaux de ce savant portent le cachet d'une finesse d'observation et d'une sagacité rares, d'une justesse d'appréciation saisissante, d'une habileté consommée dans l'art des dissections, d'un amour de la vérité entière élevé à sa plus haute expression.

George Newport, né le 14 février 1803 à Canterbury, est mort à Londres, le 8 avril 1854. Médecin par nécessité, naturaliste par goût, il est l'auteur d'une admirable étude du développement du système nerveux chez un Insecte (le Sphinx du Troëne). C'est Newport qui a révélé les principaux faits relatifs à la structure de cet appareil organique chez les Articulés.

On lui doit une série de mémoires sur l'anatomie, la physiologie et les métamorphoses des Insectes; sur plusieurs sujets, des découvertes d'un intérêt exceptionnel que nous aurons plus tard l'occasion de rappeler, ainsi qu'une importante étude du développement des Myriapodes.

George Newport est certes l'un des grands savants qu'ait eus l'Angleterre, mais l'Angleterre s'en est peu doutée, surtout tant qu'il a vécu. Aux prises avec les dures nécessités de l'existence, l'homme digne d'occuper une haute position, l'homme auquel auraient dû être procurées toutes les facilités pour l'exécution de ses brillants travaux, n'a pu consacrer qu'une partie de son temps à ses recherches scientifiques. Dans les dernières années de sa vie, qui n'a pas été bien longue, Newport avait reçu de la munificence royale une petite pension. Cette faveur, nous sommes heureux de le dire, était venue à la suite des chaleureuses marques d'estime souvent données aux œuvres du naturaliste anglais par l'un de nos zoologistes, l'un des savants les plus illustres de notre époque.

N'ayant guère le droit de parler des résultats des plus récentes investigations entreprises sur le système nerveux et le mode de circulation du sang chez les Insectes, ou, des dernières recherches sur l'organisation des Arachnides; ne pouvant, d'autre part, mentionner des centaines de mémoires relatifs à des sujets spéciaux, nous terminerons ici notre aperçu historique. On verra par la suite ce que les travaux de la période scientifique actuelle ont apporté de faits intéressants.

Cependant, après avoir jeté un rapide coup d'œil sur les travaux qui ont particulièrement contribué à élever nos connaissances sur les animaux articulés, au degré qu'elles ont atteint de nos jours; après avoir montré comment ont été découverts successivement les principaux phénomènes de l'organisation et de la vie de ces êtres; après avoir dit comment la classification ou la méthode en zoologie a conduit à comprendre le plan de la nature et à formuler les généralisations qui sont le triomphe de la science, il n'est peut-être pas inutile d'exprimer en peu de mots de quelle façon on est arrivé à enregistrer tous ces insectes, Arachnides, Crustacés du monde entier, qui forment d'immenses collections.

Tant que les observateurs n'eurent sous les yeux que les espèces de leur pays, ils songèrent peu à donner des descriptions et des figures des espèces de leur pays. Mais, après la découverte de l'Amérique, alors que le goût des explorations lointaines gagna les peuples de l'Europe, les navigateurs rapportèrent de leurs expéditions des animaux qui frappaient leur imagination par leur beauté ou leur étrangeté. Les Hollandais et les Anglais recueillirent beaucoup d'Insectes, d'Arachnides, de Crabes, remarquables par leur taille, par leurs formes, par leurs couleurs. On commença à former des collections de ces insectes exotiques. Ces collections eurent bientôt des admirateurs, des enthousiastes. Le désir de peindre et de faire des descriptions des magnifiques Papillons de Java et d'Amboine, ou des Antilles et de l'Amérique du Sud, les énormes Scarabées, les splendides Buprestes, les Araignées géantes des régions tropicales, ne tarda pas à se manifester. Pendant le cours du XVIIIe siècle, on vit ainsi paraître les recueils très-généraux de Seba, de Sloane, de Petiver, le recueil de Drury, spécial aux Insectes, celui de Pierre Cramer consacré exclusivement aux Lépidoptères, etc.

La zoologie descriptive prit son véritable caractère quand

Digitized by Google

Linné s'appliqua à donner le signalement exact de toutes les espèces qu'il put connaître et à imposer à ces espèces une nomenclature fixe et précise. Le chemin était tracé ; les collections se multiplièrent ; chaque jour fournissait l'occasion d'observer des animaux que l'on voyait pour la première. Il y eut un grand zèle de la part des collectionneurs pour décrire les espèces nouvelles. Un professeur de l'Université de Kiel, Jean Christian Fabricius, pendant plus de trente années (1775-1808) s'est occupé uniquement de nommer, de décrire et d'enregistrer les Insectes de tous les pays, et les ouvrages de cet auteur sont devenus, en quelque sorte, le point de départ de l'entomologie descriptive.

Depuis 1815, les voyages s'étant multipliés dans toutes les parties du monde, beaucoup de ces voyages ayant été effectués dans le seul but de recueillir les objets d'histoire naturelle d'une contrée, les collections des Musées de l'Europe et même les collections spéciales de certains amateurs ont pris d'immenses proportions. Il n'était plus possible à un homme de faire un nouvel inventaire des représentants connus de la classe des Insectes, ou même des représentants d'un seul ordre de cette classe ; alors, les uns se sont livrés particulièrement à l'étude d'une famille, les autres à l'étude d'un genre. On a eu des monographies descriptives.

L'étude des espèces d'une famille est encore un travail long, minutieux ; beaucoup d'amateurs possédant un, deux ou trois Insectes nouvellement obtenus, brûlaient souvent du désir de les faire connaître, de leur donner un nom ; des recueils périodiques destinés à recevoir les descriptions et les images des espèces nouvelles furent fondés en Angleterre et en France. Des sociétés se sont constituées dans le but de faciliter la publication de mémoires descriptifs, et, voici comment il existe par le monde des centaines d'entomologistes qui récoltent, classent, déterminent, décrivent des Insectes et seraient presque désolés d'apprendre quelque chose de l'organisation ou des conditions d'existence de ces êtres, qui, placés dans leur collection, sont à leurs yeux autant de joyaux.

On se tromperait beaucoup, du reste, en estimant de peu d'importance ces collections où chaque espèce est soigneusement étiquetée et placée à côté des espèces qui lui ressemblent le plus ; on se tromperait encore en n'attachant pas une valeur sérieuse à ces ouvrages, mémoires, notices, consacrés à de pures descriptions. Ces collections et ces publications nombreuses nous ont conduits à connaître les animaux qui peuplent le monde et à pouvoir désigner ces animaux d'une manière précise. Aujourd'hui on est fort avancé à cet égard. Les explorations lointaines nous fournissent chaque année des espèces nouvelles, mais il est bien rare que ces espèces n'appartiennent pas à des formes déjà parfaitement connues.

Le besoin de déterminer exactement les êtres que l'on étudie dans les manifestations de leur existence est de première nécessité. Les observations de Réaumur et de quelques autres naturalistes ont perdu une grande partie de leur intérêt, par suite de la façon vague dont les espèces ont été désignées. Une connaissance rigoureuse des groupes zoologiques et des plus légères modifications dans les formes extérieures des animaux donne à l'anatomiste et au physiologiste les idées de comparaison sans lesquelles toute généralisation est impossible. Ce sera l'éternel honneur de Georges Cuvier d'avoir montré que le véritable zoologiste dans l'étude des animaux ne saurait parfaitement comprendre son sujet, s'il vient à se désintéresser de l'étude de certaines parties.

E. BLANCHARD.

INSTITUTION ROYALE DE LA GRANDE-BRETAGNE.

(Lectures du vendredi soir.)

M. H. BENCE JONES
(de la Société royale de Londres.)

Sur l'existence dans les tissus des animaux d'une substance fluorescente se rapprochant beaucoup de la quinine.

Quand l'année dernière j'appelai votre attention sur ce fait remarquable : « qu'en quelques minutes une simple dose de lithium passe, par la circulation, dans tous les conduits, dans toutes les parties du corps, même dans celles qui sont le plus éloignées du circuit du sang, quand je vous montrai que le lithium reste dans le corps pendant beaucoup plus longtemps qu'il ne met à pénétrer dans les tissus (probablement trois ou quatre jours selon la quantité prise), puisqu'il diminue graduellement et finit par disparaître au bout de six, sept ou huit jours », je m'attendais fort peu à ce qu'en poursuivant ces recherches, sur la circulation chimique dans le corps, j'en arriverais à la découverte qui forme le titre des quelques observations que j'ai l'intention de vous présenter ce soir.

Personne n'aurait pu penser que ces recherches sur la durée du passage de certaines substances à travers les tissus conduiraient à l'hypothèse que l'homme et tous les animaux possèdent, dans toutes les parties de leur corps, le caractère tout particulier de l'écorce du quinquina du Pérou.

Après avoir déterminé la durée du passage du lithium et d'autres matières minérales dans le corps, le docteur Dupré et moi nous essayâmes de déterminer la durée du passage de la quinine.

Nous avons choisi la quinine à cause de ce spendide *test*, qui a conduit le professeur Stokes à la découverte du changement de réfrangibilité de la lumière.

Voici, par exemple, plusieurs solutions de quinine de différentes forces ; vous voyez comment au moyen de la fluorescence produite par la lumière électrique, nous pouvons indiquer quelle est celle de ces solutions qui contient le plus de quinine ; et, en formant des solutions types, on pourrait facilement mesurer combien il y a de quinine dans chacune d'elles. Le professseur Stokes a, en outre, découvert que quand on ajoute une solution de sel commun à une solution de quinine, la fluorescence disparaît entièrement. Quoi qu'il en soit ainsi avec la lumière solaire, la fluorescence ne disparaît pas quand on se sert de la lumière électrique ; d'ailleurs, en ajoutant une solution de sulfate de soude à une solution de chlorure de quinine, la fluorescence reparaît.

Enfin le professeur Stokes a prouvé qu'une solution de quinine intercepte les rayons fluorescents et les empêche de passer à une seconde solution de la même substance, de sorte que vous pouvez savoir qu'une solution contient de la quinine en l'interposant simplement entre le foyer lumineux et une solution de quinine fluorescente.

Notre premier soin a été de déterminer la délicatesse de cette réaction fluorescente pour la quinine. Nous sommes arrivés aux résultats suivants, en employant comme source de lumière l'étincelle de l'appareil d'induction de Ruhmkorff : $\frac{1}{\cdots\cdots}$ de grain de sulfate de quinine donne une fluorescence

Digitized by Google

légère ; $\frac{1}{100000}$ une fluorescence faible ; $\frac{1}{200000}$ donne une fluorescence distincte.

Un grain de sulfate de quinine dissous dans un million huit cents parties d'eau est suffisant pour montrer distinctement la fluorescence bleue. Dans une autre expérience, une solution d'un grain de quinine dans un million quatre cent quarante-quatre parties d'eau est devenue très-distinctement fluorescente.

Possédant ainsi notre test, nous commençâmes aussitôt à l'appliquer pour déterminer le passage de la quinine dans les tissus des cochons d'Inde.

Nous fîmes prendre de la quinine à un de ces animaux, et pour pouvoir comparer nous tuâmes en même temps que lui un autre cochon d'Inde, qui n'avait pas pris de quinine.

Chaque organe du cochon qui avait pris de la quinine fut chauffé avec de l'acide sulfurique très-dilué. Cet extrait fut répété plusieurs fois. Les extraits acides furent mêlés et filtrés, neutralisés après le refroidissement avec de la soude caustique, puis agités fréquemment avec un volume égal d'éther. Le résidu, après l'évaporation de l'éther, fut dissous dans l'acide sulfurique dilué, filtré et éprouvé pour la fluorescence.

Chaque organe du cochon qui n'avait pas pris de quinine fut traité de la même manière. A notre grande surprise, non-seulement nous trouvâmes une substance fluorescente dans les tissus du cochon qui avait pris de la quinine, mais nous rencontrâmes aussi une substance presque exactement semblable dans les tissus du cochon qui n'en avait pas pris. Chaque tissu fut examiné, et dans tous nous trouvâmes cette substance fluorescente.

Nous essayâmes alors par toutes les méthodes possibles de trouver le moyen de séparer la fluorescence naturelle de la fluorescence induite. Comme nous ne pûmes pas y parvenir, et que nous étions forcés de reconnaître la similitude exacte de la substance qui existe dans les tissus avec la quinine elle-même, nous abandonnâmes l'objet premier de nos recherches pour étudier avec plus de soin la substance naturelle fluorescente qui se trouve dans les animaux.

On peut démontrer que cette substance existe dans les tissus des animaux vivants ou morts, sans qu'il soit besoin de leur faire subir aucune préparation. Il y a une substance transparente qui plus que toutes les autres se prête à ces recherches.

Voici quelques lentilles enlevées à des yeux de bœufs, de cochons d'Inde et d'hommes. Vous voyez combien ces substances sont claires, blanches, transparentes ; si je prends un œil de bœuf, qui a été aplati avec soin, de façon que la structure en soit bien distincte, il est facile de voir qu'il ne contient pas de matière colorante. De même que pour la quinine, on n'aperçoit rien jusqu'à ce que les rayons bleus de la lumière électrique viennent frapper la lentille ; vous voyez alors la splendeur de la réaction. Le même effet se produit pour l'œil de cochon d'Inde. Vous pourriez être portés à croire que c'est un changement *post mortem*, un résultat de la décomposition ; mais voici un œil de bœuf tout frais, et vous pouvez encore remarquer cette admirable lumière vert bleuâtre. Mais l'expérience faite sur un homme ou un animal vivant est encore plus remarquable. Permettez-moi de la faire sur moi-même, et vous pourrez voir alors mon œil brillant d'une lumière qui nous paraît peu naturelle, parce que nous n'y sommes pas accoutumés.

La vie et la mort n'ont rien à faire avec l'existence de cette substance ; vous venez de la voir présente dans un œil vivant, vous la retrouveriez de même dans des lentilles qui ont été conservées plusieurs mois dans la glycérine.

J'ai déjà dit que cette substance n'existe pas seulement dans l'œil, et qu'on peut la trouver partout, en traitant d'abord les substances animales avec de l'acide dilué, puis en les neutralisant avec un alcali, et enfin en faisant un extrait par l'éther. Nous obtenons ainsi des solutions ayant exactement les mêmes propriétés que celles que vous remarquez dans l'œil. Voici, par exemple, un extrait du foie, un autre des reins, un troisième du cœur. Quand on traite par l'éther une solution acide de cette substance, aucune fluorescence ne se produit. De même que pour la quinine, il faut que l'acide soit neutralisé avant que cette substance soit traitée par l'éther.

Ayant obtenu ces solutions, nous avons pu comparer leur action sur le spectre avec celle des solutions de quinine. La solution de la substance naturelle devient fluorescente un peu avant la solution de quinine ; mais la fluorescence s'arrête exactement au même point du spectre que celle de la solution de quinine.

La fluorescence de la substance naturelle est un peu plus verdâtre que celle de la solution de quinine.

Si une cellule de quartz, contenant une solution de la substance naturelle, est interposée entre le foyer lumineux et une solution de quinine, cette dernière solution ne devient pas fluorescente ; et si la solution de quinine est interposée entre le foyer lumineux et la solution de la substance naturelle, cette dernière devient à peine fluorescente.

Quand on ajoute une solution de sel à la substance fluorescente naturelle, il se produit le même effet que pour la quinine : le pouvoir fluorescent est détruit.

Si l'on fait bouillir la solution naturelle avec du permanganate de potasse, elle ne perd pas sa fluorescence ; la quinine se comporte aussi de la même manière. Mais quand le permanganate, avec un excès d'alcali, agit sur cette substance ou sur la quinine, la substance fluorescente est entièrement oxydée.

Ainsi donc, cette substance par le mode de son extraction, et par son action remarquable sur la lumière, se rapproche beaucoup de la quinine ; et ceci nous a conduit à appliquer à cette substance fluorescente naturelle, après son extraction du corps, les mêmes réactifs chimiques qu'à la quinine.

Vous pouvez voir dans les réactions suivantes les différents réactifs employés pour les alcaloïdes, tels que la quinine, la morphine, la strychnine, la vératrine, l'atropine. D'abord, la quinine donne, comme vous le voyez, un précipité avec l'iode dans l'iodure de potassium. Secondement, l'iodure de mercure dans l'iodure de potassium donne aussi un précipité. Troisièmement, l'acide phosphomolybdique donne aussi un précipité. Quatrièmement, le bichlorure de platine donne un précipité. Enfin le trichlorure d'or donne un précipité, et ce précipité est soluble dans l'alcool.

Or, chacune de ces réactions différentes s'obtient avec ces mêmes réactifs, agissant sur la substance fluorescente naturelle extraite des animaux.

Nous avons donc là encore la preuve chimique que cette substance est un alcaloïde et qu'elle se rapproche beaucoup de la quinine.

Nous l'avons appelée quinoïdine animale, parce que, jusqu'à présent, nous ne sommes pas encore arrivés à la cristal-

Digitized by Google

liser et que nous n'avons pas pu nous en procurer une quantité suffisante pour l'analyser.

Dès qu'il nous eut été prouvé qu'une substance fluorescente alcaline ressemblant à la quinine existe dans les différents tissus, nous essayâmes de déterminer la proportion présente dans les différentes parties du corps. Dans ce but, nous nous procurâmes des solutions types de quinine, puis des quantité égales de la substance alcaline furent traitées de la même manière, et nous en comparâmes la fluorescence avec les solutions types de quinine. Il était impossible par ce moyen d'obtenir des résultats précis, mais tout au moins pouvons-nous nous procurer des éléments de comparaison, qui sont représentés dans les tables suivantes :

De la quantité de substance fluorescente, existant dans les différents organes du cochon d'Inde et de l'homme, mesurée par le nombre de grains de quinine, dissous dans 100 litres d'eau, qui donnent la même fluorescence.

	COCHON D'INDE.			HOMME.		
Foie	6 à 3	6	2	2	2	2
Lentilles	3	2	2	2		
Reins	3	2	2	2	2	3 à 6
Urine	3	2	2			
Bile	3	2	2			
Sang	3	2	2			
Cerveau	3	2	2			
Nerfs	3	2	2	1	1	2
Muscles	3	2	2	1	2	2
Humeurs de l'œil	2	2	2			
Cartilages				3	1	
Rate				1	1	3
Poumons				1	1	2

Quelle est donc la signification de cette substance répandue dans presque toutes les parties du corps des animaux, et qui ressemble tant à la quinine? Nous sommes loin quant à présent de pouvoir donner une réponse définitive. Il y a trente ans à peine, on considérait comme un fait curieux la présence de l'ammoniaque dans les produits de la distillation du charbon, parce qu'on pensait que l'azote était le principe caractéristique de la substance animale et qu'on regardait l'absence d'azote comme la marque distinctive du règne végétal. Graduellement, année par année, chaque substance qu'on croyait appartenir spécialement au règne végétal a été découverte dans les animaux. Ainsi le sucre, l'amidon, les fibres ligneuses, les matières colorantes végétales telles que l'indigo, les substances albumineuses, sont communs aux animaux et aux végétaux; nous en sommes enfin arrivés à conclure qu'on ne peut plus, sous ce rapport, établir de distinction entre les trois règnes de la nature. Dans le corps, le sel, le phosphate de chaux, le phosphate de soude, sont des substances animales tout autant que la fibrine et l'albumine. Le sucre est tout autant une substance animale que l'albumine est une substance végétale, et l'analyse chimique ne peut tracer aucune ligne de démarcation entre l'animal, le végétal et le minéral.

Les opérations qui s'accomplissent dans les trois règnes sont cependant bien différentes. Ordinairement le végétal peut avec de l'acide carbonique, de l'ammoniaque et de l'eau, former symétriquement des acides, des hydrocarbures, des graisses, des alcaloïdes et des substances albumineuses. Avec de l'albumine, l'animal au contraire forme analytiquement des alcaloïdes, des graisses, des hydrocarbures neutres, des acides, et enfin, de l'eau, de l'ammoniaque et de l'acide carbonique.

Nous pourrions donc, dès à présent, dresser la table suivante des substances, communes aux deux règnes, produites synthétiquement et analytiquement :

DU CARBONATE D'AMMONIAQUE ET DE L'EAU EN REMONTANT A L'ALBUMINE.	DE L'ALBUMINE EN DESCENDANT AU CARBONATE D'AMMONIAQUE ET A L'EAU.
Substances formées synthétiquement par la plante ou par le chimiste.	*Substances formées analytiquement.*
Acide oxalique.	Albumine.
— formique.	Caséine.
— lactique.	Quinoïdine animale.
— acétique.	Indigotine.
— valérianique.	Glycol.
Glycérine.	Taurine.
Sucre.	Leucine.
Amidon.	Urée.
Cellulose.	Acide caprylique.
Cholestérine.	— caproïque.
Butyrine.	— caprique.
Palmitine.	Oléine.
Stéarine.	Stéarine.
Oléine.	Palmitine.
Acide caprique.	Butyrine.
— caproïque.	Cholestérine.
— caprylique.	Cellulose.
Urée.	Amidon.
Leucine.	Sucre.
Taurine.	Glycérine.
Glycol.	Acide valérianique.
Indigotine.	— acétique.
Quinine.	— lactique.
Caséine.	— formique.
Albumine.	— oxalique.

Donc, si nous adoptons ce point de vue, la substance que nous avons nommée quinoïdine animale descend de l'albumine, et ses derniers résultats seront le carbonate d'ammoniaque et l'eau, substances avec lesquelles le quinquina, placé dans des circonstances favorables, pourra produire la quinine : $C^{40}Az^{2}O^{4}$.

Si nous considérons le grand nombre des atomes de carbone, qui se trouvent dans la quinine, nous pourrons la regarder comme une des premières substances produites par l'albumine, et ceci très-probablement nous donnera la clef de la réponse à la question : comment la quinine agit-elle dans le corps?

Quand on prend du sulfate de quinine, il passe rapidement du sang dans les tissus, comme le lithium et les autres substances sur lesquelles j'ai appelé votre attention l'année dernière.

Au bout d'un quart d'heure même, après avoir pris 4 grains de sulfate de quinine, la fluorescence peut s'élever à 75 grains par 100 litres. La plus grande quantité se trouve dans le foie et dans les reins; une quantité moindre dans le sang, l'urine et les muscles; moindre encore dans le cerveau, les nerfs et la bile; mais, même dans ce court espace de temps, le phénomène peut se tracer dans la lentille.

Au bout de trois heures l'effet maximum de la quinine est

Digitized by Google

atteint. Il est alors équivalent à 100 ou 200 grains de quinine par 105 litres d'eau, et se trouve en cette quantité dans le foie, les reins, l'urine, la bile, le sang, le cerveau et les muscles. Les nerfs et l'humeur aqueuse montrent une augmentation beaucoup moindre, la lentille est moins affectée que tous les autres tissus.

Au bout de six heures, la fluorescence est un peu moindre qu'au bout de trois heures.

Au bout de vingt-quatre heures, elle est considérablement amoindrie.

Au bout de quarante-huit heures, à l'exception du foie et du sang, les tissus présentent bien peu de fluorescence de plus qu'il n'en existe naturellement.

Au bout de soixante douze heures, le foie ne présente plus d'augmentation de fluorescence.

Ainsi, en quinze minutes, la quinine a pénétré partout. En trois heures, l'effet est à son maximum, et reste excessif pendant six heures. En vingt-quatre heures, il diminue beaucoup, et, au bout de quarante-huit heures, il est à peine perceptible.

Ces résultats ont été obtenus en extrayant ensemble des tissus la substance fluorescente naturelle et la quinine, et en déterminant la fluorescence commune aux deux substances au moyen de solutions types; puis, en comparant les nombres ainsi obtenus, avec les résultats présentés quand l'animal n'a pas pris de quinine.

Nous avons pu dresser la table suivante de la fluorescence des différents tissus, après avoir fait prendre 4 grains de quinine à des cochons d'Inde :

	1re expérience 1/4 d'heure.	2e expérience 1/2 heure.	3e expérience 1 heure.	4e expérience 3 heures.	5e expérience 4 heures 1/2.	6e expérience 5 heures 1/2.	7e expérience 6 heures.	8e expérience 8 heures.	9e expérience 24 heures.	10e expérience 32 heures.	11e expérience 48 heures.	12e expérience 72 heures.
Foie.....	75	40	20 à 40	100 à 200	100		100 à 200		50	4	6	6
Lentilles....	6 à 3	5		3	2		3 à 1		3		3	3
Reins.....	75	40	20	100 à 200	100		100		50		3	3
Urine.....	50	20 à 10	20	100 à 200	100		100	4 à 6	12 à 6	2	3	3
Bile.....	12	20	5	100 à 200	13		75	5	12		3	3
Sang.....	50	20	20	100 à 200	2 à 25	20 à 40	100 à 50		12		6	3
Cerveau....	12	10 à 5	5 à 3	100 à 200	6 à 12		25		6			3
Nerfs.....	6	5		6	2		6		3		3	3
Muscles....	50 à 25	20	5	100 à 200	50 à 100		25		12 à 6		3	3
Humeurs...		5		6 à 3	2		3		6		3	

Nous avons pu aussi tracer le passage de la quinine dans les yeux de l'homme.

La table suivante, que nous devons à l'obligeance de M. Bowman qui nous a donné les cataractes, le prouve évidemment :

Augmentation de la fluorescence dans les cataractes après avoir pris de la quinine.

	Quinine par 100 litres d'eau.	
La fluorescence naturelle de la lentille.....	1,6	grains.
1 heure après avoir pris 5 grains, cataracte.	1,6	»
1 heure 1/4 id. id. id.	1,6	»
2 heures id. id. id.	1,6	»
2 heures 1/4 id. id. id.	2,1 à 3,1	»
Après avoir pris de la quinine plusieurs jours..... id.	6,2 à 3,1	»

Les chiffres ci-dessus représentent le nombre des grains de sulfate de quinine qu'il est nécessaire de dissoudre par 100 litres d'eau, pour donner une fluorescence égale à celle des substances extraites.

Ainsi donc, la quinine pénètre partout; et partout où elle pénètre elle rencontre la substance fluorescente naturelle, ressemblant à la quinine, qui probablement se forme et s'oxyde constamment. Une dose de quinine cause un excès temporaire de quinine dans les tissus. Elle arrête probablement la transformation de l'albumine en quinine. Cet arrêt temporaire des changements qui s'accomplissent, ce transfert d'action à la quinine introduite, expliquent que de larges doses produisent chez l'homme la surdité, une grande prostration et un pouls presque imperceptible, tandis que chez le cochon d'Inde les fortes doses peuvent causer la mort, tant est grande la prostration. A petites doses, la quinine, probablement comme l'alcool, produit un stimulus immédial quand la première action chimique a lieu; mais bientôt la quinine, par son action secondaire, retarde les changements chimiques des substances azotées, de même que l'alcool, et retarde aussi les changements chimiques des hydrocarbures dans les différents tissus.

Peut être l'augmentation de résistance aux changements dans les tissus et dans le sang, résistance produite par des doses excessives de quinine ou d'alcool, est-elle analogue à cet état bien connu des médecins, sous le nom très-peu défini et probablement très-incorrect d'*urémie*.

Ces expériences donnent lieu d'espérer deux découvertes : 1° explication de la cause et guérison de la fièvre; 2° traitement de maladies affectant les parties du corps situées en dehors des vaisseaux sanguins.

1° Etant admis qu'en état de bonne santé il existe dans les tissus une substance ressemblant à la quinine, la rapide destruction de cette substance, par l'action des miasmes marécageux, peut-elle donner lieu à la fièvre? La quinine guérit-elle la fièvre en fournissant un agent qui retarde les changements qui se font dans les tissus? La propriété bien connue de l'arsenic de conserver les substances organiques nous fournit-elle aussi l'explication de son pouvoir de guérir la fièvre?

2° Si la circulation chimique peut porter les alcaloïdes jusque dans les tissus non vasculaires, n'est-il pas raisonnable de supposer que les médicaments passent à travers le sang et agissent sur les tissus? N'est-il pas très-probable qu'ils jouent un rôle dans tous les changements chimiques qui se

Digitized by Google

produisent en dehors des vaisseaux sanguins, aussi bien que dans le sang lui-même ? N'y a-t-il pas enfin lieu d'espérer que, dans la multitude de nouvelles substances que la chimie synthétique produit chaque jour, on pourra découvrir quelque médicament propre, non-seulement à contrôler les changements chimiques excessifs des tissus pendant les fièvres et les inflammations, mais encore à enlever les produits de l'action chimique insuffisante, même dans ces maladies qui affectent les tissus non vasculaires, telles par exemple que la cataracte et la goutte?

Il me reste à indiquer en quelques mots ce qu'on savait déjà sur cette substance fluorescente, et sur le passage des alcaloïdes dans le corps, à l'époque où nous avons commencé nos recherches.

En 1845, le professeur Brücke constata que les lentilles des yeux absorbaient considérablement les rayons bleus de la lumière, et que la cornée et les humeurs aqueuses absorbaient à un degré moindre.

En 1855, le professeur Helmholtz examina la fluorescence de la rétine d'un homme mort depuis dix-huit heures. La première expérience montra que la rétine était très-faiblement fluorescente. La couleur de la lumière dispersée dans la rétine était d'un blanc verdâtre.

En 1858, M. Jules Regnault, employant la lumière solaire, trouva que dans l'homme et les mammifères la cornée était quelque peu fluorescente; que chez le mouton, le chien, le chat et le lapin, la lentille cristalline possédait au plus haut degré les propriétés fluorescentes; que pour ces animaux et aussi pour beaucoup d'oiseaux, la partie centrale de la lentille, préservée par la dessiccation à une basse température, conservait cette propriété; que la partie centrale du cristallin de beaucoup de vertébrés et de mollusques aquatiques n'avait aucune fluorescence; que l'humeur vitrée possède seulement une très-faible fluorescence due à la membrane hyaline; que la rétine possède une certaine fluorescence qui n'est pas comparable en intensité à celle de la lentille cristalline.

En 1859, J. Setschenow, de Moscou, élève de Helmholtz, à la requête de ce dernier, entreprit des expériences sur les yeux des hommes et des lapins. La rétine fraîche produisait le même phénomène que la rétine d'un cadavre. Elle projetait une lumière diffuse blanc verdâtre qui, examinée au prisme, donne un spectre dans lequel le rouge n'existe pas. L'humeur vitrée, placée dans une cellule de verre mince, ne montrait que des traces de fluorescence. La lentille, au contraire, produisait une forte fluorescence; la couleur de la lumière qu'elle projetait était blanc bleuâtre; ressemblant à celle de la quinine et presque aussi forte qu'elle. Examinée au prisme cette lumière diffuse donne un spectre dans lequel le rouge manque et le bleu prédomine. La fluorescence commence, comme pour les solutions de quinine, entre les raies G et H, est plus forte au commencement du violet et s'étend dans l'ultra violet à la même distance que pour la solution de quinine.

Quand la cornée est enlevée, elle a une fluorescence beaucoup plus faible que la lentille; l'humeur aqueuse ne montre pas signe de fluorescence.

Ces phénomènes, dit-il, dans ces trois derniers média peuvent se montrer facilement, même dans l'œil d'un homme vivant. Quand on place l'œil au foyer des rayons ultra violets, la cornée et la lentille brillent immédiatement d'une lueur blanc bleuâtre. La cornée dans l'œil vivant est beaucoup plus fluorescente que quand elle est disséquée, probablement à cause de la perte de transparence résultant dans ce dernier cas de la contraction des tissus et de l'évaporation.

Le professeur Donders a recherché avec soin le temps que mettent l'atropine et la fève de Calabar à agir sur l'iris de l'homme.

Une solution d'atropine versée goutte à goutte sur la cornée commence à agir en quinze minutes, et atteint son effet maximum en vingt ou vingt-cinq minutes. Au bout de quarante-deux heures la pupille reste encore plus petite; et après treize jours même elle n'avait pas recouvré sa grandeur naturelle.

Le fluide extrait de l'humeur aqueuse, injecté dans un autre œil, cause une dilatation de la pupille.

Une solution de fève de Calabar commence à agir en cinq ou dix minutes et atteint son effet maximum en trente ou quarante minutes. Au bout de trois heures cet effet commence à diminuer et il n'en reste plus de trace au bout de deux à quatre jours.

HENRI BENCE JONES.

Traduit de l'anglais par E. Barbier.

MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE.

PHYSIOLOGIE COMPARÉE.

COURS DE M. VULPIAN (1).

Théorie des sécrétions.

Tous les faits que nous venons d'étudier dans la leçon précédente démontrent en définitive les étroites et nombreuses relations de la sécrétion salivaire avec le système nerveux. Cette étude n'a pas seulement l'importance, déjà assez grande, qui se rattache à la salive, elle a de plus une très-grande portée parce que l'on peut sans témérité généraliser les résultats obtenus ici et se représenter la physiologie des autres glandes comme devant être très-analogue, sous ce rapport, chez les animaux supérieurs.

Mais en quoi consiste au fond cette influence du système nerveux sur les glandes? Est-elle la véritable cause prochaine de la sécrétion de la glande sous-maxillaire que nous avons prise pour exemple ?

Ce sont là des questions du plus haut intérêt que nous allons tâcher de résoudre devant vous. Mais d'avance nous pouvons dire que, contrairement à l'opinion exprimée par d'éminents physiologistes, nous arriverons à refuser au système nerveux un rôle aussi direct sur la sécrétion salivaire. Pour nous la sécrétion est un phénomène tout à fait analogue aux phénomènes de la nutrition intime, et nous savons par des faits irrécusables que ces phénomènes sont au fond indépendants du système nerveux. Ils sont partout du même ordre dans tout le règne organique, chez les animaux et chez les végétaux, et par conséquent, ne sont sous l'influence du système nerveux qu'à titre de perfectionnement dans le mécanisme.

Pour vous bien exposer les raisons qui me semblent militer en faveur de l'opinion que je viens d'énoncer, il me paraît nécessaire de chercher d'abord si le système nerveux agit directement sur les glandes salivaires. Ce que nous avons déjà

(1) Voy. les nos 32, 33, 37, 40 et 44.

Digitized by Google

exposé constitue un grand pas de fait dans la question. Nous avons montré, par l'exemple de la glande sous-maxillaire, que la sécrétion salivaire était sous l'empire d'un point assez restreint du bulbe rachidien ou de la protubérance annulaire; que ce point, que l'on pourrait appeler centre salivaire, influence probablement la sécrétion de toutes les glandes; qu'il agit sur la sous-maxillaire par la corde du tympan, qui est le chemin par lequel se rendent à la glande toutes les excitations venues des nerfs centripètes ou des parties antérieures de l'encéphale, phénomènes sensitivo-moteurs ou idéo-moteurs. De plus je n'ai pas besoin de répéter, ce que je disais tout à l'instant, que la glande sous-maxillaire reçoit des filets nerveux sympathiques venus du ganglion sous-maxillaire et d'autres venus du ganglion cervical supérieur. Ces relations bien constatées, et, après avoir indiqué les routes que peut suivre l'action nerveuse, il importe de déterminer par quel mécanisme cette influence se fait sentir. Nous l'avons comparé à une action réflexe : en tous cas la comparaison serait juste ; mais il importe de préciser si ce n'est là qu'un terme de comparaison, bon pour la démonstration, ou s'il y a identité parfaite. En d'autres termes : l'excitation qui revient du centre cérébro-spinal ou sympathique est-elle une action réflexe motrice?

Il faut examiner d'abord l'opinion de M. Cl. Bernard. Ce savant physiologiste a montré qu'il y a dans l'état ordinaire des choses des phénomènes concomitants qui peuvent jouer un rôle des plus importants, peut-être essentiel, dans le mécanisme de l'influence nerveuse sur les glandes. D'après lui, l'excitation réflexe ou l'excitation expérimentale de la corde du tympan n'agiraient pas directement sur les éléments sécréteurs de la glande, mais bien sur les vaisseaux qui se rendent à la glande, et ce seraient des modifications de la circulation par véritable action motrice qui détermineraient les variations de la sécrétion (1).

Nous devons examiner sérieusement cette opinion qui, à tous égards, a droit à notre attention, et qui s'appuie en outre sur des faits de la plus haute importance.

Depuis les expériences bien connues de M. Cl. Bernard, de M. Brown-Séquard et de quelques autres physiologistes, on n'ignore plus l'action que les nerfs sympathiques exercent sur les vaisseaux (2). Or, j'ai à peine besoin de vous le dire, la glande reçoit des artères, il en part des veines et entre ces veines et ces artères, il existe un réseau très-riche de capillaires. Si donc on coupe les filets sympathiques destinés à la glande, on voit, comme dans tous les autres tissus, une accélération de la circulation veineuse ; le sang de la veine coule avec une plus grande abondance et, en même temps, il est plus rouge : on dirait que le sang artériel n'a pas eu le temps de devenir veineux. Si l'on excite, par la galvanisation par exemple, le bout périphérique de ces filets nerveux, celui qui va vers la glande, le cours du sang dans la veine se ralentit au point de cesser quelquefois et, en même temps, sa couleur, qui était presque rutilante dans la première expérience, prend une teinte de plus en plus noire.

(1) Voyez dans la *Revue* les cours de physiologie générale de M. Cl. Bernard en 1864 et 1865, et les *Leçons sur les propriétés des tissus vivants*, leçon XXIV.

(2) Voyez *Revue des cours scientifiques*, 2e année, p. 36, leçon de M. Cl. Bernard et cours de 1865, 3e année, p. 26 et suiv. — Voyez aussi *Leçons sur les propriétés des tissus vivants* du même auteur, leçon XXV, p. 402 et *passim*.

J'ai à peine besoin d'insister sur l'explication de ces faits qui s'interprètent aujourd'hui si facilement depuis les travaux de M. Cl. Bernard, de MM. Brown-Séquard, Schiff et Waller. En coupant le grand sympathique on paralyse les fibres circulaires des artérioles et des veinules; ces vaisseaux se dilatent; le sang, y passant avec une plus grande vitesse et en plus grande abondance, n'a pas le temps de devenir veineux, et il coule rutilant. En électrisant le bout périphérique, on fait contracter ces fibres, et l'on produit un effet inverse.

Mais l'intérêt que présente ces faits est dépassé par celui que nous offre le suivant. Si l'on coupe la corde du tympan, le sang veineux coule avec un notable ralentissement, et en même temps ce sang est d'un brun plus foncé : mais si l'on galvanise le bout périphérique de ce nerf, il se produit une dilatation considérable des capillaires; la circulation veineuse est activée, et non-seulement le sang sort rutilant des veines, mais encore la dilatation peut être assez prononcée pour que le sang s'échappe des veines glandulaires en jets saccadés, comme s'il sortait des vaisseaux artériels. Il se produit donc par la corde du tympan un effet absolument inverse de celui qui a lieu lorsque l'on agit sur le grand sympathique, et cet effet est tout aussi constant.

Il y aurait donc pour la glande sous-maxillaire un nerf constricteur activement des vaisseaux, ce seraient les filets sympathiques nés du ganglion cervical supérieur et un nerf activement dilatateur, la corde du tympan. Il y aurait entre ces deux ordres de filets nerveux antagonisme complet, et M. Cl. Bernard poursuivant les études dans cette voie a été conduit à admettre qu'il en est ainsi pour les vaisseaux de la face, et peut-être pour tous les vaisseaux. Quant aux filets nés du ganglion sous-maxillaire, ce seraient aussi des nerfs dilatateurs des vaisseaux, et il se produirait aussi des actions réflexes vasculaires par l'intermédiaire de ces filets. C'est ainsi que M. Cl. Bernard, après avoir découvert les faits qui devaient donner une sanction expérimentale à l'hypothèse des nerfs vaso-moteurs, montre que ces nerfs sont de deux sortes : des nerfs dilatateurs des vaisseaux et des nerfs constricteurs (1).

Envisagés en eux-mêmes, ces faits sont de la plus haute importance. Mais peut-on expliquer l'action du système nerveux sur la sécrétion sous-maxillaire par de simples phénomènes de constriction et de dilatation des vaisseaux? On pourrait être tenté de le croire, et de raisonner ainsi : si la glande doit peu sécréter, le sympathique entre en jeu, et produit une constriction vasculaire : il passe dans la glande peu de sang et la sécrétion diminue ou même s'arrête. Si la glande doit beaucoup sécréter, il se produit par la corde du tympan une dilatation vasculaire, ou bien cet effet se produit par les filets partis du ganglion sous-maxillaire. Il y a afflux de sang dans la glande et conséquemment il y a beaucoup de salive sécrétée. C'est ce qui se produirait, par exemple, lorsque l'on introduit du vinaigre dans la cavité buccale d'un animal mis en expérience. On voit, en même temps que la salive s'écoule en abondance par la canule, le sang devenir rouge dans les veines et y circuler en plus grande quantité.

Ces explications seraient très-simples; mais malheureuse-

(1) Voyez le cours de physiologie générale de M. Cl. Bernard en 1864, *Revue des cours scientifiques*, 2e année; le cours de 1865, 3e année, p. 26 et suiv., et *Leçons sur les propriétés des tissus vivants*, leçon XXV, p. 402 et suiv.

Digitized by Google

ment elles sont absolument inexactes : c'est ce que je vais vous démontrer.

En effet, lorsque l'on agit sur le grand sympathique les effets sont très-variables ; mais le plus souvent quand on galvanise les filets sympathiques destinés à la glande, on obtient un effet inverse de celui que l'on devrait produire dans l'hypothèse que je viens de vous exposer ; car on observe ordinairement, si le courant est énergique, un ralentissement du cours du sang coïncidant avec une exagération de la sécrétion. De même la simple section de ces filets donne des résultats contraires à l'hypothèse, car on produit ainsi une dilatation vasculaire, le sang coule plus rouge et plus rutilant, et cependant il n'y a pas d'augmentation de la sécrétion. Pour la corde du tympan les faits observés sont tout aussi peu d'accord avec l'explication que nous discutons. Si, en effet, à l'exemple de M. Ludwig, on opère sur une tête détachée du corps, ou sur un animal tué par hémorrhagie ; et si l'expérience est faite immédiatement après la mort, lorsqu'on électrise la corde du tympan, on produit une hypersécrétion momentanée de la salive, bien que dans ces cas on ne puisse plus déterminer des modifications circulatoires.

Pour nous, nous sommes porté à admettre une autre explication, assez en désaccord avec le courant actuel des idées concernant l'influence des nerfs sur les vaisseaux. Je crois pouvoir avancer qu'il n'y a que des nerfs constricteurs vasculaires, nerfs nés, dans ce cas particulier, du ganglion sympathique cervical, et qui se rendent directement aux vaisseaux : j'ajoute que probablement quelques filets de ces nerfs vont aux éléments sécréteurs de la glande elle-même. C'est par ces fibres nerveuses vaso-motrices que l'excitation du système du grand sympathique produit un resserrement des vaisseaux, et change en noir la coloration du sang. C'est à ces fibres qu'il faut rapporter aussi les effets inverses de paralysie vasculaire déterminés par la section des nerfs sympathiques allant du ganglion cervical supérieur à la glande sous-maxillaire. Quant aux fibres du grand sympathique qui se rendent aux éléments sécréteurs de la glande, c'est probablement à leur excitation qu'il faut attribuer l'exagération de sécrétion que parfois l'on observe lorsqu'on galvanise les nerfs en question ; je vais indiquer plus loin le mécanisme de cette exagération de sécrétion.

Pour ce qui regarde la corde du tympan, qui joue le rôle de nerf dilatateur, ainsi que pour les filets venus du ganglion sous-maxillaire et jouant le même rôle, je crois que leur action s'exerce sur le tissu même de la glande, et que la dilatation vasculaire n'est qu'un phénomène concomitant, connexe, c'est-à-dire dû à la même cause : l'excitation des éléments sécréteurs de la glande.

Nous arrivons ainsi à une théorie différente de celle de M. Cl. Bernard sur ces nerfs dilatateurs. Il n'admet pas ou répugne à admettre une dilatation active, directement produite. Comment, en effet, s'exécuterait cette dilatation ? Mais il incline à admettre que l'excitation de la corde du tympan produit une action paralysante sur les extrémités des fibres sympathiques, de telle sorte, que la dilatation vasculaire déterminée par l'excitation de la corde du tympan aurait en définitive pour cause prochaine la paralysie des nerfs vaso-moteurs émanés du grand sympathique. Mais, outre qu'il est difficile de concevoir comment l'excitation des fibres d'un nerf amènerait directement la paralysie des fibres d'un autre nerf, on peut faire à cette explication hypothétique une objection assez sérieuse. Lorsque l'on coupe les filets sympathiques vaso-moteurs de la glande sous-maxillaire, à coup sûr on les paralyse : l'opération est suivie en effet de toutes les conséquences naturelles de cette paralysie, dilatation des vaisseaux, changement de coloration du sang veineux, qui devient plus ou moins rutilant, etc. Or, si l'explication en discussion était fondée, puisque les effets de la paralysie du grand sympathique sont ainsi obtenus, on ne devrait plus rien observer lorsqu'on galvanise la corde du tympan. Et cependant, loin qu'il en soit ainsi, on voit la galvanisation de ce nerf exagérer beaucoup la dilatation vasculaire, et le sang veineux tend à prendre de plus en plus les caractères du sang artériel.

La théorie à laquelle je me rallierais volontiers, du moins provisoirement, est celle qui a des racines dans les opinions plus ou moins nettement formulées par MM. Paget, Carpenter et par M. Brown-Séquard lui-même. Cette théorie consiste à admettre que les éléments exercent sur le sang une sorte d'attraction, de sorte qu'à la force connue jusqu'à ce jour, comme aidant le retour du sang en circulation vers le cœur, et que l'on a nommée *vis a tergo*, il faudrait ajouter une nouvelle force, attractive, en corrélation avec la nutrition intime des éléments, force que plusieurs auteurs ont appelée *vis a fronte*. Cette sorte d'action de succion exercée par les éléments peut être augmentée ou déprimée par l'excitation ou l'affaiblissement des nerfs qui vont, de plus ou moins près, animer ces éléments.

Nous pouvons, du reste, dans les tissus autres que les glandes, trouver des exemples de cette attraction. En effet, lorsqu'un corps étranger est introduit dans un tissu quelconque, à l'extrémité du doigt, je suppose, quels sont les phénomènes que l'on observe ? Il se fait d'abord une oblitération d'un certain nombre de vaisseaux, mais autour l'irritation rayonne, les vaisseaux se dilatent, le sang passe plus ou moins vite dans les veines, il y passe plus rouge, il n'a pas le temps de devenir veineux. L'excitation des éléments anatomiques détermine une véritable attraction du sang, attraction qui joue certainement un rôle important dans le développement de ces phénomènes.

Vous pouvez avoir une certaine répugnance à accepter ces vues, qui peuvent vous sembler purement théoriques ; elles peuvent cependant trouver un appui dans les résultats de l'expérimentation. Je coupe tous les nerfs d'un membre sur une Grenouille : puis je détermine une excitation en plaçant une fine gouttelette d'acide azotique sur la peau d'une des lames membraneuses interdigitales ; au bout d'un certain temps, il se produit en ce point une congestion plus ou moins vive. Dans ce cas, cependant, on ne saurait admettre l'action vaso-motrice : on ne peut plus admettre que cette force de *vis a fronte* dont je vous parle.

Mais il est un moyen de rendre la démonstration encore plus nette. Si l'on prend un œuf au quatrième jour de l'incubation, on aperçoit une vascularisation très-nette de la membrane ombilicale. En ce moment, il ne saurait être question de la moindre influence nerveuse. Si l'on place une gouttelette de nicotine sur un des points de l'aire vasculaire, il se fait autour de ce point une vascularisation tellement abondante que presque tout le sang vient s'y rendre, si bien qu'à un certain moment il n'y a plus de sang, pour ainsi dire, ni dans les vaisseaux, ni même dans le cœur.

Ces faits suffisent pour que l'hypothèse que j'adopte provi-

Digitized by Google

soirement ne passe pas pour une simple conception à priori sans aucun appui théorique ou expérimental.

Revenons donc à la glande, et, pour être plus clair, réduisons-la à son élément fondamental : la cellule sécrétante. Comment se fait la sécrétion salivaire? Nous avons déjà rejeté tout ce qui pouvait tenir aux simples modifications vasculaires. Une théorie qui avait de la vogue attribuait la sécrétion à la pression intra-vasculaire : il fallait bien être prédisposé à l'illusion pour ne pas voir l'inanité de cette explication. Car que pouvait-on expliquer ainsi? D'ailleurs les vaisseaux se dilatent au moment de la sécrétion, et la pression baisse dans ces vaisseaux. Du reste, je vous ai déjà entretenu des expériences faites sur des animaux décapités et sur des animaux tués par hémorrhagie. Il est une expérience de M. Ludwig qui a encore plus de poids et qui montre que la pression est plus forte dans la glande que dans les artères. Pour démontrer cela, M. Ludwig a placé un manomètre dans les artères de la glande et un autre dans les canaux sécréteurs, et il voit que c'est dans ces derniers que s'observe la plus forte pression. Cette expérience est très-importante; elle montre, en effet, cette vive attraction que les cellules glandulaires exercent sur le sang. Vous voyez donc que la théorie de la pression vasculaire est complétement fausse.

Il faut admettre que la sécrétion est due à un phénomène de nutrition intime. Certains matériaux sortent du sang pour entrer dans la cellule; mais par quel mécanisme? Nous sommes, sur ce point, dans une ignorance profonde; il y a, sans doute, des modifications successives opérées par les parois vasculaires, par les parois du cul-de-sac glandulaire, par les parois de la cellule, dans la cellule et au sortir de cette cellule. Mais tout cela est profondément obscur. Nous pouvons cependant, sinon saisir le phénomène au passage, au moins affirmer sa présence, grâce aux modifications qu'il amène. Ainsi on observe, dans ce travail sécrétoire, une production de chaleur. La salive et le sang veineux qui sort de la glande, comme l'ont montré MM. Ludwig et Speiss, ont une température plus élevée que le sang artériel qui va entrer dans la glande.

D'après les considérations qui précèdent, il est permis d'admettre que les nerfs peuvent exercer une certaine influence sur les éléments sécréteurs, influence qui augmente l'activité de leur travail. Ces organes sont, en effet, d'une grande richesse nerveuse. Dans un travail tout récent, M. Pflüger a démontré que certaines fibres iraient se mettre en rapport avec les parois même des cellules de la glande. Il y aurait donc des relations bien intimes entre les extrémités périphériques des nerfs et les cellules glandulaires et l'on conçoit que l'excitation de ces nerfs puisse agir directement sur les cellules elles-mêmes. D'ailleurs, la galvanisation directe de la glande, contrairement à ce qu'avait vu M. Cl. Bernard, active bien certainement la sécrétion salivaire. C'est un résultat que j'ai obtenu maintes fois, et tout aussi bien sur la glande parotide que sur la glande sous-maxillaire; et, pour cette dernière glande, l'effet était encore le même après la section complète du nerf lingual uni à la corde du tympan et la section de ce même nerf lingual au-dessous du point d'où se détachent les filets de la corde du tympan destinés à la glande.

L'excitation des éléments sécréteurs de la glande sous-maxillaire, soit directement, soit par l'intermédiaire des fibres nerveuses qui se mettent en communication avec eux, aurait donc pour effet d'activer le travail de sécrétion, et par suite de produire une plus grande attraction sur le sang; de là deux conséquences parallèles : l'augmentation de la sécrétion et l'accélération du cours du sang avec dilatation des vaisseaux. Ainsi, la dilatation des vaisseaux sous l'influence de l'excitation de la corde du tympan serait un phénomène secondaire, médiat, indirect, et ne serait pas, par conséquent, la cause de l'augmentation de sécrétion qui survient dans ces conditions. Pour le cas où, par suite de l'excitation des filets nerveux du grand sympathique, il y a en même temps augmentation de la sécrétion et constriction des vaisseaux. On les explique tout aussi facilement en remarquant que le seul résultat qui puisse se manifester, c'est l'augmentation de la sécrétion, puisque la galvanisation de ces filets agit directement sur les vaisseaux et y détermine une constriction considérable. Mais les fibres qui vont animer les cellules glandulaires n'y déterminent pas moins une impulsion plus ou moins vive qui active leur travail. C'est probablement parce que la circulation est en même temps ralentie que la salive, dans ces conditions, coule plus épaisse et plus visqueuse.

Ainsi s'expliqueraient les résultats obtenus par M. Cl. Bernard; et, à tout prendre, je préfère l'hypothèse qui admet une action sur la vie des éléments, action produisant une sorte de fluxion sanguine vers ces éléments par appel plus copieux et plus rapide des matériaux du sang, à l'hypothèse qui admet que l'excitation de certains nerfs peut en aller paralyser d'autres destinés aux mêmes éléments.

E. Brémond.

— La suite très-prochainement. —

M. Bouchardat, président actuel de l'Académie de médecine, professeur d'hygiène à la Faculté de médecine de Paris, membre de la commission pour la révision du Codex pharmaceutique, vient d'être nommé officier de la Légion d'honneur.

— M. Tisserant, agrégé des sciences mathématiques, vient d'être nommé astronome adjoint à l'Observatoire de Paris.

— L'Académie des sciences de Berlin a décerné le grand prix de mathématiques de cette année à M. Louis Cremona, professeur de géométrie supérieure à l'Université de Bologne, auteur de plusieurs ouvrages estimés.

— Hermann Goldschmidt, le célèbre peintre-astronome, vient de mourir à Fontainebleau à l'âge de soixante-quatre ans. Huit fois lauréat de l'Académie des sciences dans l'espace de dix ans, il fut honoré de la grande médaille d'or de la Société royale astronomique de Londres. En neuf ans, Goldschmidt découvrit 14 petites planètes.

Sur la demande spontanée de l'Académie des sciences et la proposition du maréchal Vaillant, le savant astronome avait exceptionnellement reçu de l'empereur de grandes lettres de naturalisation. En 1857, il fut nommé chevalier de la Légion d'honneur. Comme peintre, Goldschmidt, élève de Cornélius, exposa, en 1836, *Une Juive à Alger, la Poésie*; en 1845, *l'Offrande à Vénus*; en 1848, *Cléopâtre, le Marché aux poissons à Rome*; en 1857, *Roméo et Juliette* et *Un effet de nuit*, commandé par le ministre d'État. (*Liberté.*)

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE — NUMÉRO 46 — 13 OCTOBRE 1866

Paris, 12 octobre 1866.

Parmi les communications faites récemment à l'Académie des sciences, nous signalerons particulièrement les suivantes :

M. Rayer a présenté un important mémoire de M. Chauveau sur les conditions qui président au développement de la vaccine dite primitive. M. Chauveau examine particulièrement si la vaccine primitive de Jenner peut se développer spontanément chez le cheval.

M. Philipeaux a présenté des expériences démontrant que les membres de la salamandre aquatique ne peuvent se régénérer après extirpation, que si on a laissé sur place au moins la partie basilaire de ces membres.

M. C. Saint-Pierre adresse un travail constatant la présence, dans l'atmosphère environnant les cuves où se fabrique le vin, d'une quantité considérable d'azote qui présente des dangers très-sérieux, et dont on ne peut se débarrasser que par la ventilation, l'azote n'étant absorbable par aucun réactif.

M. Trécul a lu un fort long mémoire sur l'anatomie des vaisseaux propres chez les Clusiacées.

M. Payen présente les résultats des expériences qu'il vient d'exécuter sur la porosité du caoutchouc, principalement dans ses rapports avec la dialyse des gaz. Dans une séance précédente, M. Th. Graham avait adressé à l'Académie un travail sur l'absorption et la séparation dialytique des gaz au moyen de diaphragmes colloïdes. M. Graham suppose que, dans la pénétration des tubes de fer et de platine par l'hydrogène, ce gaz se trouve liquéfié comme une vapeur d'un corps métallique. Il croit aussi que l'aciérage du fer est le résultat de la pénétration et de la fixation dans sa masse d'une certaine quantité d'oxyde de carbone.

M. Guérin-Méneville a exposé diverses observations qu'il vient de faire sur le développement d'un nombre considérable d'insectes acariens dans les pommes de terre, par suite de l'abondance des pluies.

É. A.

ASSOCIATION BRITANNIQUE

POUR L'AVANCEMENT DES SCIENCES

(Session tenue à Nottingham.)

SOMMAIRE. — Le budget de l'association. — L'observatoire de Kew. — Une nouvelle étoile variable, par M. *Hind*. — Les météores en 1865-1866. — Chaleur produite dans la lune par la radiation solaire, par M *Harrison*. — Discours sur l'éducation médicale, par M. *Bence Jones*. — Discours sur les périodes géologiques, par M. *Ramsay*. — Discours sur la biologie, par M. *Huxley*. — Les oiseaux disparus, par M. *A. Newton*. — Discours sur l'anthropologie, par M. *Wallace*. — Les affluents du Nil et les lacs de l'équateur, par M. *S. Baker*.

L'association britannique pour l'avancement des sciences a été fondée en 1831. Cette association, qu'il ne faut pas confondre avec la Société royale ou l'Institution royale, sociétés à poste fixe, si je puis m'exprimer ainsi, se réunit chaque année pendant une huitaine de jours, mais jamais deux fois de suite dans la même ville. Le président est élu pour un an par le conseil de l'association; les savants les plus célèbres de l'Angleterre ont occupé à tour de rôle ce poste honorifique.

Le but que se propose l'association est, ainsi que son nom l'indique, l'avancement des sciences; les moyens pratiques qu'elle emploie pour arriver à ce but sont les réunions annuelles, qui, ayant toujours lieu pendant les vacances, à la fin d'août ou au commencement de septembre, permettent aux savants de tous pays d'assister à ces réunions et d'y venir faire des communications importantes. Le succès de ces réunions est tel que deux mille membres y assistent presque toujours. Le budget de l'association consiste en une cotisation annuelle de vingt-cinq francs que paye chacun des membres. Ce budget s'élève maintenant à près de 90 000 francs par an. Cet argent est employé d'abord à subvenir aux dépenses que nécessitent les réunions, et surtout à des recherches scientifiques faites par des commissions permanentes nommées par le conseil de l'association. La source principale de dépenses est l'observatoire de Kew, fondé par l'association, et auquel elle consacre chaque année une somme de 15 000 francs. Les lecteurs de la *Revue* liront, je pense avec intérêt, le budget des dépenses de l'année 1865-66; car ils pourront ainsi se faire une idée des recherches qu'encourage plus particulièrement l'association.

Dépenses de la réunion de 1866 à Birmingham	6 500 fr.
Impression du rapport de la trente-quatrième réunion tenue à Bath en 1865	15 800
Salaires pendant l'année	8 750
Observatoire de Kew	15 000
Aux commissions chargées des recherches suivantes :	
Étude de la lune	1 600
Aérostation (recherches météorologiques)	1 250
Adoption du système métrique	1 250
Pluviomètre en Grande-Bretagne	1 250

Digitized by Google

Houillères de Kilkenny	400
Fossiles d'Alum-Bay	375
Météores	1 250
Excavation à Lingula	500
Composition chimique de la fonte	1 250
Composés de l'amyle	625
Résistance électrique	2 500
Exploration des cavernes de Malte	750
Exploration du trou de Kent	5 000
Faune maritime, etc., Devonshire et Cornouailles	625
Fouilles sur différentes côtes	2 000
Résistance de l'eau envers les corps flottants	1 250
Polycyanides de radicaux organiques	500
Rigis mortis	250
Annelida d'Irlande	375
Catalogue de crânes	1 250
Oiseaux des îles Mascareen (le Dodo)	1 250
Recherches sur les crânes types	750
Exploration de la Palestine	2 500

Chaque année ces différentes commissions présentent un rapport sur leurs travaux.

Le président de l'association inaugure chaque année la réunion par un discours d'ouverture dans lequel il passe en revue ce qui s'est passé dans la science pendant l'année qui vient de s'écouler. La réunion de 1866 restera célèbre à cause du magnifique discours prononcé par M. Grove, le président, dans lequel discours, il soutient avec un si grand pouvoir de logique la doctrine de la *continuité* (1).

Afin de mettre un peu d'ordre dans les communications, l'association se subdivise en sections : mathématiques et physique; chimie; géologie; biologie; géographie et ethnologie; économie politique et statistique; mécanique. Chacune de ces sections a un président qui retrace ordinairement en quelques mots les principaux travaux faits pendant l'année; puis vient la lecture des mémoires et leur discussion.

Nous passerons rapidement en revue les travaux de la réunion de Nottingham, en faisant une courte analyse des discours des présidents de section et des principaux mémoires qui ont été lus.

Voici d'abord quelques extraits du rapport annuel sur l'observatoire de Kew.

« Le rapport d'une commission, nommée pour considérer certaines questions relatives au bureau météorologique de Board of Trade (ministère du commerce), rapport présenté aux deux chambres du parlement par ordre de Sa Majesté, a été communiqué aux membres de la commission de l'observatoire de Kew. L'objet du rapport est indiqué dans les termes suivants : A la mort de feu l'amiral Fitz-Roy, le Board of Trade et la Société royale provoquèrent la nomination d'une commission chargée d'étudier les questions suivantes : 1° Quels sont les data, quant aux observations météorologiques en mer, déjà recueillis par le bureau météorologique de Board of Trade? 2° Est-il utile d'arranger, de mettre en tableaux, de publier ces data, ou quel autre usage peut-on en faire? 3° Est-il désirable de continuer des observations météorologiques en mer, et si oui, de quelle manière? 4° En admettant que l'on doive continuer le système de télégraphie météorologique, peut-on améliorer ce système, et quelle est la meilleure manière de publier les résultats obtenus? 5° Quel sera le nombre de personnes à employer pour les objets ci-dessus indiqués?

» Les auteurs du rapport arrivent aux conclusions suivantes par rapport aux statistiques maritimes, à la possibilité de prédire le temps et aux observations affectant l'état du temps dans les Iles Britanniques. La collection des observations faites par les capitaines de vaisseau est un travail que le gouvernement, au moyen des nombreux agents à sa disposition, peut entreprendre avec plus de facilité que toute autre société; en un mot, ce travail a été fait avec soin par le bureau météorologique avant qu'il n'ait tourné son attention vers la prédiction du temps. Nous pensons donc que le « Board of Trade » doit continuer ce travail. Le calcul et la réduction de ces observations sont, d'un autre côté, un travail qui requiert une profonde connaissance de l'état de la science et une stricte méthode scientifique. Ce travail n'a pas été fait d'une manière satisfaisante par le bureau météorologique, et nous croyons qu'il vaudrait mieux, qu'il serait plus économique, qu'il fût fait sous la direction d'un corps savant, tel qu'une commission de la Société royale ou de l'Association britannique, en admettant que le gouvernement pourvût aux dépenses nécessaires. L'observatoire déjà existant à Kew pourrait probablement recevoir assez de développement pour entreprendre ce travail. Dans ce cas, il deviendrait un centre météorologique, dans lequel viendraient se concentrer toutes les observations faites soit sur terre, soit sur mer, et où elles seraient discutées et enregistrées. Nous avons donc, dans les devis, supposé que toutes les observations météorologiques faites sur terre, soit dans les stations créées par la Société royale, soit dans les phares ou les postes sur les côtes, aussi bien que toutes les observations faites en mer, seront adressées à un corps savant pour être discutées par lui; nous avons aussi supposé que l'aide donnée par le gouvernement prendrait la forme d'un vote annuel, de façon à laisser à la société savante, chargée de ce travail, parfaite liberté dans le choix des méthodes et du personnel, mais à charge par elle de rendre compte tous les ans au parlement des fonds dépensés et des résultats obtenus. »

La Commission de l'observatoire de Kew a examiné ce rapport et elle approuve les conclusions indiquées. Elle pense que l'arrangement projeté tombe dans les attributions de l'observatoire.

En effet, nous avons constaté dans notre dernier rapport que bien des observations, bien des expériences de nature à faire faire des progrès à la science sont entreprises par l'observatoire; les dépenses nécessitées par ces expériences sont, bien entendu, à la charge de ceux qui les ordonnent.

La Commission pense que les observations suggérées dans le rapport au gouvernement, que nous venons d'analyser, serait simplement une extension des travaux habituels de l'observatoire; mais, d'un autre côté, ces travaux sont si considérables que la commission n'a pas voulu s'en charger sans en référer d'abord au conseil de l'association pour qu'elle l'autorise à traiter avec le Board of Trade.

La commission de l'observatoire désirerait aussi que le conseil approuvât la publication d'un mémoire sur les variations périodiques et non périodiques de la température à Kew, considéré comme station normale de la météorologie en Angleterre. Des travaux semblables occupent depuis quelques années les principaux savants du continent, car c'est la base de toute connaissance *scientifique* sur la climatologie d'un pays. L'observatoire magnétique et météorologique de Toronto, au Canada, a publié dans les *Philosophical Transactions* de 1853, un mémoire sur les variations périodiques et non périodiques de la température à Toronto. Aucun travail semblable n'a encore été entrepris à Kew, quoique cela rentre entièrement dans les principes qui ont présidé à son établissement. Des photogrammes journaliers du thermographe construit sous la direction de M. Stewart fourniraient la plus excellente base d'observations pour un semblable mémoire. Le classement de ces photogrammes serait le seul travail extraordinaire qu'il y aurait à faire. Si ce travail était continué pendant cinq ou six ans, on aurait toutes les bases nécessaires à la détermination des variations périodiques, ce qui formerait la première partie de l'ouvrage proposé. Si le Board of Trade venait à s'arranger avec l'observatoire pour les recherches que nous indiquions plus haut, la publication dont nous venons de parler serait un travail indispensable. »

MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUE.

« *Remarques sur l'étoile variable découverte dernièrement dans la Corona Borealis* » par M. J. R. Hind.

Au commencement de juin dernier, M. Hind reçut une lettre de M. W. Barker, attaché à la douane de London, Canada occidental, constatant que la remarquable étoile variable dans la Corona Borealis, étoile qui fut aperçue en Europe le 13 mai, avait été découverte par lui le 4 du même mois. Il décrit ainsi les variations de cette étoile. « Je l'observai pour la première fois le 4 mai à neuf heures du soir; elle était alors un peu plus brillante que Epsilon Coronæ; elle s'accrut rapidement jusqu'au 10 et était aussi brillante qu'Alphacca (Alpha Coronæ); elle était alors à son maximum. Le 14 elle n'était plus qu'une étoile de la troisième grandeur et le 18 de la cinquième. Le 19, je pouvais à peine l'apercevoir et, le 20, elle

(1) Voyez le discours de M. Grove dans la *Revue des cours scientifiques*, n° du 15 septembre 1866, p. 682.

Digitized by Google

était invisible à l'œil nu. Le 20, je l'observai au moyen de mon télescope; elle apparaissait alors sous la forme d'un beau disque excessivement brillant. » M. Barker n'a pas, que je sache, annoncé sa découverte avant le 16 mai, jour où il inséra dans un journal canadien l'avis suivant : « Les astronomes apprendront avec intérêt qu'une nouvelle étoile a paru dans la constellation de la Corona Borealis. Elle est de la troisième grandeur et est située à environ un degré S. E. par E. d'Epsilon Coronæ et à trois degrés de Pi Ophinchi, en ligne directe entre les deux. Elle forme ainsi l'apex d'un triangle équilatéral avec Beta et Zeta Herculis. » Plusieurs astronomes européens ignorant les observations de M. Barker ont supposé que l'étoile s'était montrée avec une soudaineté étonnante. M. Schmidt, d'Athènes, observateur expérimenté pense que, le 12 mai au soir, cette étoile ne devait pas encore avoir un éclat égal à celui d'une étoile de la cinquième grandeur ou qu'il l'aurait aperçue. M. Courbaisse, à la Rochelle, était convaincu qu'elle était invisible à l'œil nu le 11, et cependant à cette date, selon les observations de M. Barker, elle était déjà égale à une étoile de la seconde grandeur. Ce n'est certainement pas là un exemple unique du peu d'importance qu'il faut attacher à de simples témoignages négatifs dans des cas semblables. Souvent l'auteur dans sa propre expérience astronomique a rencontré de tels exemples et l'on peut en trouver de bien frappants dans l'histoire de ces étoiles variables. Tycho Brahé pensait que la célèbre nouvelle étoile de 1572, qu'il aperçut en revenant de son laboratoire, et qui avait alors l'éclat d'une étoile de première grandeur, ne devait pas être visible une heure auparavant, et cependant tout habile observateur qu'il était, il est prouvé que cette étoile avait été déjà découverte quelques jours auparavant. L'apparition de cette étoile restera mémorable, car elle a permis d'appliquer pour la première fois l'analyse par le spectre à ces espèces d'étoiles (1).

Rapport sur les météores de 1865-66, *par une Commission composée de* MM. J. Glaisher, R. P. Grey, E. W. Brayley et A. S. Herschel (2).

La commission n'a qu'à se féliciter des succès qui ont couronné ses travaux pendant cette année. Comme il y a tout lieu de penser que dans la matinée du 13 novembre prochain, les étoiles filantes seront en quantité considérable, la commission a préféré éviter toutes les dépenses, qui n'étaient pas absolument nécessaires, afin de réserver toutes ses forces pour cette époque. Dans le but d'étudier avec plus de profit les étoiles filantes en novembre prochain, la commission a fait construire deux spectroscopes pour examiner les spectres de ces étoiles. Les spectroscopes ont été essayés le 10 août dernier, et l'on a pu observer dix-sept spectres. Ces spectroscopes sont binoculaires, et leur construction est telle qu'on peut facilement suivre la marche de l'étoile filante. Les observations faites au mois d'août, démontrent clairement l'existence d'une quantité extraordinaire de vapeur de sodium. Il est impossible de supposer que la vapeur du métal sodium existe en quantité sensible à l'extrémité de l'atmosphère, aussi doit-elle y être apportée par les météores eux-mêmes. Le noyau de ces météores est donc sans doute un fragment de matière minérale dont le sodium est une des substances constituantes.

Sur la chaleur produite dans la lune par la radiation solaire, par M. J. P. Harrison.

Quand l'auteur de ce mémoire discuta, il y a un an, le sujet de l'insolation lunaire, il prouva au moyen d'un seul diagramme que le surplus de la chaleur de la lune, outre ce qu'elle rayonne dans l'espace, surplus causé par l'action continue des rayons du soleil à sa surface, doit atteindre son maximum plusieurs jours après la date de l'illumination complète. La durée moyenne du rayonnement solaire pour les périodes entières du premier et du troième quartier étant dans la même proportion que 4,25 : 11,25, en autres termes, les jours où la lune complète son premier et son troisième quartier doivent être les jours de sa température maximum et minimum. M. Harrison a depuis appris qu'il y a quelques années Herr Althaus estima approximativement la température de la lune à 840 degrés Fahrenheit, le vingt-deuxième jours de la lunation ou sept jours après la pleine lune. La méthode employée pour arriver à ces chiffres est de mesurer le rayonnement solaire au moyen du pyrhéliomètre, puis, appliquant les résultats trouvés à la lune, de déduire de l'étendue de sa superficie le montant de la chaleur interceptée, en comparant la capacité de la lune pour la chaleur à celle du quartz. En admettant que cette déduction soit correcte, la chaleur de la lune approcherait beaucoup de la température à laquelle le fer paraît rouge pendant le crépuscule et dépasserait le point de fusion de l'étain ou du plomb. On ne peut malheureusement comparer cette estimation à celle faite par Sir J. Herschel, qui, il est vrai, s'est occupé seulement de la température de la lune au moment de l'illumination complète et qui, sans fixer de chiffres, s'est contenté de dire que cette température est supérieure à celle de l'eau bouillante. Mais comme la surface de la lune doit pendant le dernier quartier recevoir, sans interruption, les rayons du soleil pendant 180 heures, il est probable que la chaleur totale est très-considérable. Quoiqu'il en soit, le maximum de chaleur doit se produire pendant le dernier quartier. L'époque du plus grand froid à la surface de la lune est moins certaine, car quoique le physicien allemand déjà cité arrive à la conclusion que ce doive être douze heures après la nouvelle lune, le problème est plus complexe, et l'auteur du mémoire pense qu'il faut reculer un peu cette époque, et la fixer en un mot au moment où la surface a été le plus longtemps privé des rayons du soleil. Si une température de — 92 degrés Fahrenheit arrive au temps fixé par Althaus, il faudrait supposer un abaissement de température de 940 Fahrenheit (ou 522 degrés centigrades) en huit jours environ. Il est vrai que les corps portés à une très-haute température se refroidissent excessivement vite et dans l'air et dans le vide. Cependant il est prouvé que le refroidissement s'opère plus rapidement dans l'air parce qu'il est conducteur de la chaleur. C'est là une des lois indiquées par Dulong et Petit, et admises par tous ceux qui ont étudié ces questions. Il semblerait donc que l'absence d'une atmosphère contribuât dans la lune à une accumulation de chaleur, mais d'une manière différente de ce qui se passe sur la terre. Quant à la théorie que les rayons du soleil ne peuvent pas échauffer la matière si elle est entourée par l'air sec, il ne semble pas

(1) Voyez dans notre numéro 38, p. 617, un mémoire de M. Faye sur les étoiles variables et les étoiles nouvelles.

(2) La *Revue* publiera prochainement une conférence sur les météores, faite à l'Institution royale par M. Herschel.

Google

prouvé qu'il en soit ainsi. Il serait nécessaire, pour admettre cette conclusion, que les faits qui semblent l'indiquer fussent observés avec soin. Sir H. Davy afffrma que l'absorption de la chaleur a lieu dans le vide. En somme, il y a tout lieu de croire que la chaleur solaire doit pénétrer la croûte de la lune à une profondeur telle qu'il serait difficile que cette chaleur se dissipât rapidement.

M. Grove, président de l'Association, a lu un admirable mémoire du professeur Matteucci, *Sur les courants terrestres*, mémoire trop important pour qu'on puisse se permettre d'en faire une simple analyse, et que le manque d'espace nous empêche de reproduire aujourd'hui.

CHIMIE.

Discours d'ouverture du président de la section, M. BENCE JONES M. D. (1).

Après quelques considérations générales sur la chimie, après avoir rappelé les recherches synthétiques du professeur Frankland sur les éthers et quelques autres travaux, M. Bence Jones ajoute :

« Le directeur de la Monnaie a fait une découverte très-remarquable, l'absorption et la séparation dialytique des gaz par des septa colloïdes. Par exemple il a découvert que les gaz mélangés passent différemment à travers le caoutchouc, proportionnellement à leur puissance de liquéfaction. L'oxygène de l'air atmosphérique passe rapidement tandis que l'azote est presque arrêté. L'importance de cette découverte pour la métallurgie, et son application à la physiologie de la respiration et au passage de l'oxygène du sang dans les tissus, doit frapper tout le monde. Il y a bien peu de temps encore, on enseignait que le règne animal et que le règne végétal étaient composés de substances essentiellement différentes. Les composés nitrogénés appartenaient, disait-on, au règne animal tandis que l'on affirmait que le règne végétal n'était composé que de substances carboniques. L'amidon, les fibres ligneuses, les matières colorantes comme l'indigo, les alcaloïdes tels que la quinine distinguaient, pensait-on, la création végétale de la création animale; et cependant chacune de ces substances ou son équivalent a été trouvé dans les animaux. A présent on ne peut faire aucune distinction chimique entre les végétaux et les animaux. Bien que nous commencions à nous demander comment s'est produit notre système actuel d'éducation, pourquoi il n'a pas progressé alors que toutes les branches des connaissances naturelles ont progressé; cependant l'opinion publique change si lentement, les préjugés de nos premières années sont si bien enracinés dans notre esprit que l'éducation à notre époque est de beaucoup inférieure à celle qu'aurait reçue, il y a deux mille ans, un jeune Grec ou un jeune Romain; ces préjugés sont tels, dis-je, que malgré l'immense influence de cette association, je crois qu'il serait inutile de perdre notre temps à étudier cette vaste question. Mais il y a un côté de ce sujet qui touche de près tous ceux qui sont ici présents. Je veux parler de l'éducation scientifique de tous ceux qui, à chaque instant, peuvent être appelés à donner leur opinion sur les moyens mécaniques à employer pour amoindrir ou pour augmenter les actions mécaniques du corps, ou sur les substances chimiques qu'il y aurait à prendre pour amoindrir ou pour augmenter les différentes actions chimiques qui se produisent dans notre organisme, alors qu'elles s'activent ou s'immobilisent au point de produire la maladie. Je vais, aussi brièvement que possible, vous retracer la meilleure éducation actuelle à la disposition de ceux qui se destinent à la profession médicale. Pendant les dix premières années de sa vie, le futur médecin apprend à lire, à écrire et un peu d'arithmétique. De dix à vingt, le latin, le grec, un peu de mathématiques ou de théologie et peut-être quelque langue moderne. De vingt à trente la physique, la chimie, la botanique, l'anatomie, la physiologie et la médecine, et peut-être la chirurgie. Si nous considérons le résultat final que l'on doit atteindre, c'est-à-dire le savoir nécessaire pour employer les forces mécaniques, chimiques, électriques et les autres forces émanant de tout ce qui nous entoure pour augmenter ou diminuer les actions mécaniques, chimiques, etc., qui se produisent dans les différents tissus dont notre corps est composé, il est évident que la seconde période décennale se passe sans que nous faisions un pas vers le but désiré, et que dans la troisième période, ce qu'il y a à apprendre excède de beaucoup le temps qu'on y consacre pour pouvoir le faire avec fruit. Si nous examinons maintenant une éducation moins complète, nous verrons que dans les dix-huit premières années de sa vie, on demande au jeune homme comme minimum de savoir la lecture, l'écriture, l'arithmétique et assez de latin pour lire et écrire une ordonnance. Pendant les trois années suivantes, il doit apprendre la physique, la chimie, la botanique, l'anatomie, la physiologie, la médecine pratique, la chirurgie et l'obstétrique. Il résulte de cet encombrement qu'il lui faut commencer l'étude de la physiologie en même temps que celle de la physique et de la chimie. En autres termes, on commence en même temps à jeter les fondations et à construire l'édifice. Comment se peut-il qu'on comprenne l'action des forces chimiques, mécaniques et électriques qui s'exercent dans le corps, si l'on ne sait pas déjà les éléments de la chimie, de la mécanique et de l'électricité? Comment se peut-il qu'un médecin régularise les forces du corps avec quelque chance de succès en permettant ou en refusant le mouvement ou la nourriture, si l'on ne prête aucune attention à ces sciences fondamentales? Il me semble que le seul moyen de rendre l'éducation première de nos médecins un peu moins efficace, serait d'insister pour qu'ils sussent l'hébreu ou l'arabe au lieu du latin, de façon qu'ils puissent mieux comprendre l'origine de quelques-uns des mots de notre langue et qu'ils puissent écrire une ordonnance dans l'un ou l'autre de ces idiomes. Permettez-moi, maintenant, pour faire contraste, de vous peindre l'éducation médicale basée sur l'éducation classique la plus minime et la plus grande somme possible de connaissances naturelles. Pendant les dix ou douze premières années de sa vie, le futur médecin devrait parfaitement apprendre sa langue maternelle, outre l'écriture et l'arithmétique; dans les cinq ou dix années suivantes, la physique, la chimie, la botanique et l'allemand ou le français, et enfin dans les cinq dernières années, l'anatomie, la physiologie, la médecine, la chirurgie et l'obstétrique. Si chaque médecin savait bien sa langue et pouvait expliquer la nature de la maladie et le traitement à suivre en termes clairs et parfaitement intelligibles, s'il pouvait employer toutes les forces de la nature pour guérir ou pour soulager son malade; s'il était assez savant pour surveiller et diriger le pharmacien dans toutes les analyses, dans toutes les recherches nécessaires quant à la nature des aliments et des médicaments, il n'y a pas lieu de douter que la position du médecin ne fût infiniment supérieure à celle que lui procure actuellement la connaissance d'un peu de latin et de quelques mots de grec. Loin d'être plus savant que tout autre, les médecins se laissent dépasser par les pharmaciens qui comprennent mieux qu'il ne le fait les usages des aliments et des médicaments, et qui savent mieux qu'eux aussi reconnaître les symptômes d'une multitude de maladies chimiques. L'habitude de faire des recherches et la connaissance qu'ils ont de la nature des forces agissant dans le corps les conduira graduellement à devenir les conseils suprêmes dans toutes les questions qui importent à la santé publique et, comme M. Bouchardat, à Paris, ils deviendront presque des médecins (1). En se plaçant à un autre point de vue, on reconnaîtra encore le mal qui résulte de notre éducation médicale actuelle. L'emploi du latin pour les ordonnances exige que les pharmaciens sachent assez cette langue pour pouvoir la lire. Ne vaudrait-il pas mieux qu'ils consacrassent le temps qu'ils passent à cette étude à apprendre les langues modernes afin de se tenir au courant des nouvelles découvertes pharmaceutiques. Nos pharmaciens comme ceux de France et d'Allemagne devraient pouvoir faire des analyses et s'assurer que les substances qu'ils vendent sont ce qu'ils prétendent, c'est-à-dire chimiquement pures. Pardon de vous avoir si longtemps retenu sur ce sujet, mais je vous demande pour le bien de la science, pour le bien de l'humanité entière, d'exercer toute votre influence afin d'arriver à un changement dans l'éducation première de ceux qui se destinent à la médecine, de telle sorte que, laissant de côté le grec et le latin, ils puissent consacrer leur temps à l'étude des forces physiques et chimiques qu'ils ont à employer et souvent à combattre. J'insiste à ce sujet parce que c'est chez moi une conviction bien arrêtée que la médecine ne prendra son véritable rang au milieu de tous les arts qui contribuent au bien-être et au bonheur de l'humanité, qu'alors qu'elle aura pour base la connaissance parfaite de la chimie et de la physique. »

(1) Voyez dans le numéro précédent, p. 737, une conférence de M. Bence Jones, sur l'existence, dans les tissus des animaux, d'une substance fluorescente analogue à la quinine.

(1) M. Bouchardat a été autrefois, il est vrai, pharmacien en chef de l'Hôtel-Dieu; mais il était depuis longtemps docteur en médecine et même agrégé de la Faculté de médecine de Paris pour les sciences chimiques, lorsqu'il fut nommé professeur d'hygiène dans cette Faculté à la suite d'un brillant concours où il l'emporta sur des concurrents déjà fort connus.

Digitized by Google

Les principaux mémoires lus dans la section de chimie sont les suivants :

« Sur la nature chimique de la fonte », par le docteur *A. Matthiessen.*

« Sur l'ozone », par le docteur *Daubeny.* Dans le courant de la discussion sur ce mémoire, M. Glaisher constata, comme le résultat de longues observations, que « quand l'ozone est présent dans l'atmosphère, la santé publique est excellente, et que son absence est le signal de nombreuses maladies.

« Sur une nouvelle lampe à magnésium », par M. *H. Larkin.* Cette lampe donne une admirable lumière. Au lieu de brûler le magnésium sous forme de ruban ou de fil, cette lampe le brûle sous forme de poudre métallique mêlée à un peu de gaz et de sable. Le prix actuel de cette lumière est de 25 francs par heure.

« Sur l'action du chlore sur l'amyline », par le docteur *Bauer.*

« Sur le spectre de l'atmosphère terrestre et celui de la vapeur d'eau » et « sur un spectroscope à vision directe », par le docteur *Janssen* (1).

« Sur la nature et les propriétés de l'ozone et de l'antozone démontrées par l'expérience », par le professeur *J. M. Gauley.*

SECTION DE GÉOLOGIE.

Après quelques remarques préliminaires le président, le professeur Ramsay, ajoute :

Quand on fut bien persuadé que le monde était formé, quant à l'extérieur toutefois, de deux classes de roches, les roches ignées et les roches aqueuses, on s'habitua pendant longtemps à attribuer tous les bouleversements de la croûte de la terre à l'admission ou à l'exclusion des masses ignées. Mais une analyse plus parfaite des roches, analyse basée sur un examen sérieux de pays entiers, a contribué à faire disparaître cette vieille idée. Si nous examinons les formations dans lesquelles les roches ignées sont le plus généralement développées, que trouverons-nous? Voyons d'abord le nord du pays de Galles : c'est une formation silurienne composée en grande partie de roches ignées, mais au lieu de grandes masses ayant brisé la croûte de la terre et bouleversé cette croûte, elles consistent principalement en lits d'une grande épaisseur stratifiés çà et là, surtout dans la partie inférieure, de jolies masses de porphyre, qui peuvent représenter, comme quelques géologues le pensent, les roches d'anciens volcans ; mais le caractère montagneux de ce pays n'est pas causé par les couches ignées, parce que toutes ces couches ont été troublées par des forces différentes qui ont produit ces changements. Les roches ignées ne sont pas la cause de ces changements, parce qu'elles ont été troublées beaucoup plus tard ; en un mot, le caractère montagneux du pays est dû à l'inégale dureté des roches, quelques-unes plus tendres ayant été dénudées, d'autres plus dures ayant résisté ; les roches dures donc forment les montagnes, les roches tendres se trouvent dans les vallées. Je pourrais appliquer le même raisonnement aux roches carbonifères de l'Écosse, et à toutes les surfaces où se trouvent les roches ignées. Or, il se présente ces questions : ces forces ont-elles agi soudainement ou les changements ont-ils été lents et graduels ? Ce sont là des questions fort embarrassantes pour les géologues, et l'on a fait plusieurs réponses. Selon les uns, nous vivons actuellement dans un monde à l'état accompli, et qui ne doit plus voir de cataclysmes ; selon les autres, nous nous trouvons dans un état de repos temporaire après une succession de spasmes, qui se produiront de nouveau à une époque que nous ne pouvons fixer ; selon d'autres enfin, l'état de tranquillité dont nous jouissons actuellement a été l'ordre de tous les temps, tout au moins autant que les géologues peuvent retracer l'action des forces qui a amené le monde à sa condition actuelle. Voilà les grandes opinions, et je penche vers la dernière. Allons un peu plus loin, examinons les rapports de la vie avec les modifications qui ont eu lieu à la surface de la croûte terrestre. Il y a eu, comme chacun le sait, un grand nombre d'espèces, habitant le monde à différentes époques, et dont les restes se trouvent dans les différentes formations ; il y a eu une succession d'organismes, chaque formation se distinguant par sa forme particulière. Ce fait amena la doctrine de grandes créations soudaines au moyen desquelles le monde se peupla immédiatement, et, en outre, la doctrine que ces organismes après de longs intervalles étaient détruits par des cataclysmes soudains, puis le cataclysme passé, la nouvelle formation recevait une nouvelle création. Quand il eut été prouvé que dans quelques couches les différentes formes d'organismes se mélangeaient, on fut obligé d'abandonner cette théorie de l'extinction complète. Le professeur Ramsay après avoir suivi ce raisonnement dans tous les détails qu'il comporte, ajoute : « Ce raisonnement nous prouve que la vie n'a jamais entièrement disparu du globe, mais que les organismes s'y sont succédé les uns aux autres ; mais il faut en même temps reconnaître que les changements survenus à la surface de la croûte terrestre nous ont fait perdre bien des chapitres, que dis-je, des livres tout entiers de cette admirable histoire. Nous devons, en outre, nous rappeler en examinant cette longue suite de siècles, que des organismes maritimes antiques existent encore aujourd'hui ; cela prouve qu'il n'y a pas pu y avoir une catastrophe universelle qui a détruit tous les êtres qui se trouvaient sur le globe. »

Les mémoires lus dans la section de géologie sont en nombre assez considérable, les principaux sont :

« Date approximative des éclats de silex du Devonshire et du comté de Cornouailles », par M. *C. S. Bate.*

L'auteur, par l'étude des couches géologiques, arrive à la conclusion que les éclats de silex trouvés dans ces deux comtés sont contemporains de la période qui a immédiatement précédé l'invasion de la Grande-Bretagne par les Romains.

« Second rapport de la commission chargée de faire des fouilles dans la caverne de Kent dans le Devonshire », par M. *W. Pengelly* (1).

Dans le courant de l'année dernière, on a trouvé une grande quantité d'ossements, principalement de hyènes et de rhinocéros, quelques éléphants très-jeunes et très-petits, et vingt instruments de silex, mais pas d'ossements humains.

« Sur les coulées intermittentes de pétrole et les grands dépôts de bitume dans la vallée de Pescara en Italie », par le professeur *Ansted* (2).

(1) Le mémoire de M. Janssen, déjà présenté à l'Académie des sciences de Paris, se trouve analysé dans notre numéro 39, p. 633.

(1) Voyez dans la *Revue des cours scientifiques*, numéro du 18 août 1866, une conférence faite a l'Institution royale par M. W. Pengelly, sur les fouilles exécutées pendant l'année dernière dans le trou de Kent.

(2) La *Revue* publiera prochainement une conférence faite à l'Insti-

Digitized by Google

« Sur un changement graduel dans la forme et la position des terres à l'extrémité méridionale de l'île de Walney », par M. *R. A. Peacock.*

L'auteur de ce mémoire insiste sur l'importance de conserver, par un tracé sur les cartes de l'amirauté, les vieilles lignes de côtes auprès des nouvelles.

Le docteur *Foster*, M. *King* et M. *Pengelly*, dans la discussion qui s'engagea sur ce mémoire, citèrent des cas de destruction qui se produisent sur nos côtes, destruction due à l'action de la mer sur la terre; des maisons, des villages même sont détruits et les villes sont obligées de reculer.

M. *Patterson* indique qu'il se produit une compensation par le drainage et l'endiguement.

Le professeur *Ramsay* fait remarquer que la grande source permanente de compensation n'est pas le dépôt successif de terrains de la surface, mais un soulèvement graduel qui se continue toujours. Il n'y a pas lieu de douter que les Iles-Britanniques étaient, il y a des milliers d'années, liées au continent, et il pense que ce lien existait probablement pendant l'époque glaciaire. Une vaste plaine s'étendait sans doute entre les deux, et c'est par cette plaine que passèrent les gros animaux et les reptiles venus de l'Orient, dont les restes se trouvent actuellement en Angleterre. Très-probablement l'Irlande a été séparée de l'Angleterre beaucoup plus tôt qu'elle ne l'a été de la France, et c'est à cette circonstance qu'il est disposé à attribuer le petit nombre de reptiles qui se trouvent en Irlande, animaux dont l'absence est attribuée par le peuple à l'influence de saint Patrick. Quant au mode de séparation, il pense qu'elle est due plutôt à une action incessante des eaux qu'à une commotion soudaine. Un système de compensation s'est ensuite établi par le soulèvement graduel des côtes. Depuis la période romaine, quelques parties des côtes de l'Écosse se sont élevées de vingt-cinq pieds. Il est certain qu'on a trouvé des baleines et des canots submergés à une hauteur supérieure à celle des plus hautes eaux, restes dont la présence serait fort difficile à expliquer si l'on n'admettait pas la théorie des soulèvements.

SECTION DE BIOLOGIE.

La section de biologie se subdivise en trois classes : la biologie, la physiologie, l'anthropologie. Le professeur HUXLEY, président de la section de biologie, fait, au commencement des travaux de la section, les quelques remarques suivantes :

Je ne désire pas faire un discours, je veux seulement vous adresser quelques observations sur l'objet de la science désignée par le terme *Biologie*, et sur la position qui a été faite à ses différentes branches dans cette section de l'Association. Supposons que nous ayons un œuf et un haricot. Tous deux ne contiennent qu'un rudiment incomplet de ce qu'ils produiront. Supposons que l'œuf soit couvé et la graine placée dans la terre. Quelque temps après, un être plein de vie et d'activité et possédant même une certaine intelligence sortira de l'œuf; puis le poulet deviendra une poule. Le haricot aussi se développera et poussera une tige. Dans tous ces changements, il y a un ordre défini, une succession de formes qui ont reçu le nom de développement. En étudiant chaque pas de ce développement, nous n'étudions qu'une série de formes distinctes. En règle générale, on n'étudie que la forme dans le développement. L'observateur ne se demande pas comment et pourquoi ces changements ont lieu, mais simplement ce qu'ils peuvent être. Quand notre poulet ou notre haricot sont arrivés à la maturité, nous n'avons pas une masse homogène. Il y a des muscles et des os dans l'un, des fibres et des tissus dans l'autre. L'étude de la forme des parties intérieures s'appelle l'anatomie, et c'est de l'anatomie, que ce soit sur une petite ou sur une grande échelle. La grandeur n'affecte pas la nature de l'étude; c'est de l'anatomie, que nous ayons affaire à des parties ayant un pouce ou le millième d'un pouce de diamètre. Je désire tout particulièrement appuyer sur cela, car quelques personnes se font des idées confuses à ce sujet; l'anatomie microscopique ou l'histologie est assurément de l'anatomie. Dans tout ceci, nous nous occupons de la forme. En outre, en considérant la relation d'être à être, nous observerons que la forme d'un chêne se rapproche plus de celle d'un haricot que de celle d'un homme; ou bien que l'homme ressemble plus à un singe qu'à un crocodile. Cette étude est celle de la taxonomie, de la classification, de la zoologie systématique et de la botanique. La forme donne encore lieu à une autre étude, celle de la distribution, non-seulement dans l'espace, mais dans le temps. La vie sur notre terre n'est pas une chose d'hier, elle remonte si loin dans le passé que les traces qu'elle a laissées disparaissent avant que nous n'ayons pu en trouver le commencement, La paléontologie est la biologie du passé, et un animal fossile ne diffère d'un animal empaillé qu'en ce qu'il est mort depuis des siècles au lieu d'être mort depuis quelques jours. Nous avons donc le développement, l'anatomie, la classification et la distribution, qui constituent la morphologie; les méthodes sont l'observation et la classification. Les faits concernant la forme sont des questions de force; chaque forme est une force visible; une forme au repos est un balancement de forces; une forme subissant un changement est la prédominance d'une force sur les autres. Comment la forme s'est-elle produite? comment commence-t-elle? comment finit-elle? C'est à la physiologie considérée dans le sens le plus large qu'il appartient de répondre. Considérée dans un sens étroit, elle s'applique seulement à l'étude des individus; ainsi nous disons la physiologie de l'homme. Mais il y a une autre physiologie, celle qui s'occupe des causes de la vie, c'est celle dont les fondations comme science ont été posées par M. Darwin, dont le nom passera à la postérité comme celui de l'homme qui l'a organisé. Elle est, en quelques mots, une esquisse des rapports entre les différentes branches de la science biologique. Elle comprend deux choses : la forme et la cause. L'étude de la physiologie demande une longue préparation; on pourrait écrire sur la porte de la salle consacrée à la physiologie ces mots si vrais : « Que personne n'entre ici, s'il n'est chimiste ou physicien. » Quant à l'arrangement de notre section, c'est un expédient, dont le conseil de l'Association est seul responsable. Si nos écoles enseignaient les sciences, nous pourrions espérer que toute la section de biologie pourrait se réunir, mais il y a bien peu de chances pour que cela se puisse faire. C'est toujours la vieille histoire : le bâton ne veut pas battre le chien, le chien ne veut pas mordre le cochon, aussi la vieille femme ne peut-elle pas rentrer chez elle. L'Université ne veut pas reconnaître les sciences naturelles, ce qui fait que les écoles publiques ne veulent pas les enseigner, et, par conséquent, les hommes ne comprennent pas les sujets traités dans notre section. Aussi le Conseil, dans le but de satisfaire chacun, a-t-il établi une section pour la physiologie médicale et une autre pour l'ethnologie. La division n'est pas très-philosophique, mais elle est commode. Nous émettons des bourgeons comme un animal d'une basse organisation; mais plus complets que cet animal, nous gardons le pouvoir de réabsorber ces bourgeons.

« Rapport sur la culture des huîtres », par M. *F. Buckland.*

M. Buckland, dans ce rapport, indique quels ont été les résultats de la culture des huîtres en Angleterre. On a adopté le système français en y apportant quelques modifications, et les résultats sont excellents.

« Sur les Indiens de l'île de Vancouver », par M. *J. H. Lord.*

Le nombre des Indiens, dans l'île de Vancouver, diminue graduellement. Leur apparence personnelle est étrangement modifiée par l'habitude qu'ils ont d'être toujours assis dans leurs canots ou dans leurs huttes. Leurs dents sont usées jusqu'à la gencive; ceci provient de ce que, pendant les mois d'hiver, ils se nourrissent presque exclusivement de saumon qu'ils ont fait sécher au soleil et qui est couvert de sable. Ils ont une curieuse habitude, c'est de changer la forme du crâne pendant l'enfance, soit en l'aplatissant, soit en le rendant conique au moyen de pressions. Ces difformités sont considérées comme une beauté. Ces Indiens, jusqu'à ce que

tution royale de Londres, par le professeur Ansted « Sur les volcans de boue de la Crimée. »

Digitized by Google

la compagnie d'Hudson ait introduit chez eux des couvertures, avaient pour animal domestique un chien à longues soies importé du Japon; ils tondaient cet animal comme on tond les moutons, et se servaient de la toison pour fabriquer leurs couvertures. La religion de ce peuple est fort curieuse, ils ont des jours et des époques sacrées; ils font des sacrifices au soleil; ils croient à la magie et à des divinités qui représentent le bien et le mal. Ils croient que les animaux, les plantes bonnes à manger, les poissons, ont autrefois été des hommes. Ils computent la succession des saisons par l'arrivée des oies sauvages, la ponte du poisson, l'épanouissement des fleurs, etc. Leur langage est dur et peu musical. L'auteur du mémoire a trouvé, dans les anciens dépôts de gravier de la rivière Colombia, une quantité considérable d'armes de pierre, de boules de pierre, de boutons faits avec des coquillages, des ossements et des crânes humains. M. Lord a rapporté de Vancouver une collection précieuse déposée actuellement au British Museum.

« Rapport de la Commission chargée d'étudier les oiseaux disparus des îles Mascareignes », par le professeur *A. Newton, M. A.*

Presque immédiatement après la nomination de la commission, on reçut en Angleterre la nouvelle que M. G. Clark, de Mahebourg, île Maurice, avait fait une importante découverte. Il avait trouvé une quantité d'ossements du vrai Dodo (*Didus ineptus*, L.), dans un marais connu sous le nom de « Mare aux songes ». Plusieurs beaux spécimens de ces ossements ont été envoyés en Angleterre, et ont été achetés par les directeurs du British Museum; ils sont le sujet d'un mémoire « *Sur l'osteologie du Dodo* », lu par le professeur Owen, à la réunion du 9 janvier 1866, de la Société zoologique de Londres. Ce mémoire sera prochainement publié dans les *Transactions* de cette Société. Plusieurs autres séries de ces ossements ont été distribuées et en Angleterre et sur le continent. L'importance de cette découverte sera mieux appréciée quand on se rappellera que les seuls restes de Dodo précédemment connus aux naturalistes consistaient en une tête et un pied à Oxford, un crâne à Copenhague, partie d'une mâchoire supérieure à Prague et un pied au British Museum. On pense maintenant avoir retrouvé un squelette entier de cet oiseau à l'exception, et c'est une exception importante, de l'extrémité de l'aile. M. E. Newton a été envoyé par la Commission à l'île Maurice, où il va fouiller avec soin la « Mare aux songes », et nous avons tout lieu d'espérer qu'il parviendra à retrouver les ossements qui manquent encore.

ANTHROPOLOGIE.

M. Wallace, président de cette subdivision, adresse à la section les remarques suivantes :

L'anthropologie est la science qui considère l'homme sous ses aspects variés, comme un animal et comme un être moral et intellectuel, dans ses rapports avec les êtres inférieurs, les autres hommes et l'univers. L'anthropologue cherche à réunir et à systématiser les faits et les lois qui ont été découvertes par tous ceux dont les études ont directement ou indirectement l'homme pour objet. Ces études sont très-variées. Le physiologue, par exemple, étudie l'homme comme une machine étonnante et très-compliquée, dont il cherche à comprendre les parties et les mouvements, les actions et les réactions. L'anatomie comparée et la zoologie comparent sa structure à celle des autres animaux, notent leurs ressemblances et leurs différences, déterminent leurs degrés d'affinités et cherchent le plan commun de leur organisation et la loi de leur développement. Le psychologue étudie l'esprit de l'homme, son mode d'action et son développement, le compare avec les instincts et les facultés intellectuelles des animaux inférieurs, et cherche toujours la solution du plus grand des problèmes, d'où vient et qu'est l'intelligence? L'historien réunit et arrange les faits du progrès de l'homme dans les temps récents; le géographe détermine les localités des différentes races qui habitent actuellement la terre, leurs manières, leurs coutumes et leur caractère physique; l'archéologue cherche, par l'étude des restes de l'homme et de ses travaux, à suppléer à l'histoire écrite et à reporter nos connaissances sur l'état physique, mental et moral de l'homme jusque dans les temps antéhistoriques; le géologue étend cette sorte de connaissances à des époques encore plus reculées en prouvant que l'homme a coexisté avec de nombreux animaux maintenant disparus, et a habité l'Europe à une période si reculée que les contours de sa surface, que la forme de ses collines et de ses vallées non moins que son climat, sa végétation et sa géologie, étaient matériellement différents de ce qu'ils sont aujourd'hui ou de ce qu'ils ont jamais été depuis les temps historiques; le philologue s'adonne à l'étude de la parole humaine, et par ce moyen cherche à retracer les migrations des peuples et à prouver l'origine commune de bien des races humaines; et enfin le phrénologue et le crâniologue ont créé des sciences spéciales basées sur l'étude du cerveau et du crâne humain. Le phrénologue, considérant le cerveau comme l'organe de l'esprit, cherche à découvrir de quelle manière ils correspondent l'un avec l'autre, et à relier les particularités mentales à la forme et aux dimensions du cerveau, telles qu'elles sont indiquées par la forme correspondante de son enveloppe osseuse. Le crâniologue, concentrant son attention sur le crâne considéré comme une indication de la race, cherche à indiquer les affinités qui existent entre les races modernes et les races anciennes par la forme et la dimension des crânes. Ces différentes études ont été jusqu'à présent faites séparément. Il y a eu une grande division de travail, mais pas d'ensemble dans les résultats. Or, le but que nous nous proposons, nous, anthropologistes, est d'accepter les conclusions bien fondées de ces différentes sciences, de chercher tous les nouveaux faits qui peuvent jeter quelque lumière sur la question, et autant que nous le pouvons combiner et généraliser toutes les connaissances ainsi obtenues. Il ne nous est donc pas possible de négliger un fait se rapportant à l'homme, quelque trivial, quelque insignifiant, quelque désagréable même qu'il soit quelquefois. Chaque coutume, chaque superstition, chaque croyance du sauvage ou de l'homme civilisé peut nous conduire à une explication de leur origine. Chaque particularité de forme, de couleur ou de constitution peut nous indiquer les affinités d'une race obscure. Ce ne sera que quand nous aurons recueilli et combiné tous les faits et tous les principes qui ont été établis par les différentes sciences dont je vous ai parlé, que nous pourrons déterminer la voie de recherches qui nous restera à suivre pour compléter notre connaissance de l'homme; et j'ai tout espoir que nous arriverons un jour à quelques conclusions définies sur le grand problème qui qui doit nous intéresser tous, la question de l'origine, de la nature et de la destinée de la race humaine. Je désire vous rappeler aussi que nous devons ici regarder tous ces problèmes comme de simples questions scientifiques que les faits seuls, et les conclusions légitimes tirées des faits, doivent résoudre. Notre seul but est d'arriver à savoir quelle est notre véritable nature, de remonter pas à pas dans le mystérieux passé de la race humaine, d'étudier l'homme sous tous les aspects de son état actuel, et dans les connaissances ainsi acquises puiser quelque force pour civiliser les tribus sauvages et pour nous guider nous-mêmes dans la voie du progrès national et individuel.

Les principaux mémoires lus dans cette section sont :

« Remarques sur deux formes extrêmes de crânes humains », par le professeur *Huxley*.

L'un de ces crânes est celui d'un Tartare, excessivement arrondi, car il est presque aussi long que large (977 : 1000). L'autre, probablement celui d'un Australien, représente l'extrême type étroit de crânes, l'index céphalique, c'est-à-dire la proportion de la largeur à la longueur, étant le plus petit connu (629 : 1000).

« Note sur un Kjœkkenmœdding trouvé dans l'île de Herm », par M. *J. W. Flower*.

« Sur des débris humains dans la caverne de Poole », par M. *J. Plant*.

« Sur les instruments de pierre des Esquimaux », par Sir *E. Belcher*.

Digitized by Google

SECTION DE GÉOGRAPHIE ET D'ETHNOLOGIE.

Le président Sir *Charles Nicholson* passe en revue les récents progrès de la géographie. Il rappelle la découverte du lac Albert Nyanza par Sir Samuel Baker, et indique la nature du problème qui reste à résoudre dans la géographie de cette partie de l'Afrique. Le Tanganyika et le lac Albert Nyansa communiquent-ils ou non l'un avec l'autre? La différence de niveau, 800 pieds, qui existe entre ces deux grandes mers intérieures, semble indiquer qu'ils ne communiquent pas. D'un autre côté, il y a lieu de douter que le niveau du Tanganyika soit correctement indiqué. Il faut espérer que ce problème sera résolu par le docteur Livingstone qui s'avance vers l'intérieur de l'Afrique.

De nombreuses découvertes ont été faites en Asie, mais beaucoup reste encore à faire. L'ethnologie, depuis la découverte des instruments de pierre à Saint-Acheul, a fait de nombreux progrès.

« Sur les tributaires abyssiniens du Nil et les lacs de l'Équateur par rapport aux inondations en Égypte », par Sir *S. Baker* (1).

Le célèbre voyageur raconte en quelques mots ses explorations en Abyssinie et à la source du Nil blanc, pour expliquer les inondations annuelles en Égypte, et comment il se fait que le Nil ne se dessèche pas quand les inondations ont cessé. Il remonta en 1861 l'Atbara et le Nil bleu pour étudier leurs rapports avec le fleuve principal. Les anciens Égyptiens, et plus tard les centurions de Néron, essayèrent de remonter le Nil, mais tous échouèrent. Les centurions remontèrent le fleuve jusque par 9° de latitude nord, endroit où il forme d'immenses marécages. Aucune autre expédition n'alla aussi loin, excepté celle de Saint-Arnaud, envoyée par le vice-roi Méhémet-Ali; un des résultats de ce voyage fut la fondation de la ville de Gondokoro d'où il partit lui-même pour son expédition aux grands lacs. Quand il atteignit l'Atbara, le 13 juin 1861, le lit large et profond de cette rivière était entièrement à sec. Le 23 juin, 180 milles plus haut, à Gozerajup, il vit arriver le flot causé par le commencement de la saison des pluies en Abyssinie. En quelques minutes l'Atbara n'était plus un désert, mais une magnifique rivière ayant 20 pieds de profondeur et 500 mètres de largeur. Plus loin, à Goorassé, il atteignit le pays où l'Atbara enlève la vaste quantité de riche terre qui vient se déposer en Égygte. A cet endroit, l'eau de l'Atbara est aussi épaisse que de la crème. Après avoir été retenu bien des semaines par les pluies, il reprit son voyage, et descendant le Nil bleu, il arriva à Khartum, le 11 juin 1862, juste un an après l'avoir quitté. Il ne put apprécier toute l'importance des phénomènes fluviatiles, qu'il avait examinés, qu'après son voyage aux grands lacs. En remontant le Nil blanc, ce qui le frappa tout d'abord, fut la différence qui existe entre ce fleuve et les rivières de l'Abyssinie. Pendant quarante-cinq jours, il eut à lutter contre les terribles marais dont il était entouré. Enfin il atteignit Gondokoro, et partit de là pour le long voyage qu'il a déjà raconté au public. Le résultat de cette expédition fut de prouver que la principale branche du Nil sort de l'Albert Nyanza, et coule toute l'année sans interruption. Quant aux sources du Nil, nous ne pouvons en parler que comparativement ; il ne faut pas chercher le tributaire le plus éloigné qui vient se jeter dans le lac, mais accepter ce grand réservoir comme la véritable source. Examinons maintenant le Nil blanc quant à la fertilité de l'Égypte. L'Égypte deviendrait un désert si son irrigation dépendait des rivières de l'Abyssinie. Ces rivières produisent seulement les inondations annuelles, et ne coulent que pendant les trois mois de l'année pendant lesquels a lieu la saison des pluies en Abyssinie, de juin à septembre. L'eau des lacs s'écoule constamment par le Nil blanc, parce que ces lacs sont remplis par des pluies qui durent dix mois sous l'équateur. C'est cet écoulement constant qui empêche l'Égypte de devenir un désert, et la quantité d'eau est même assez considérable pour résister à l'immense évaporation des déserts de sable que le fleuve a à traverser. D'un autre côté, le sol fertilisant qui, chaque année, couvre le Delta, provient des rivières de l'Abyssinie.

Des mémoires fort intéressants, outre celui de Sir *S. Baker* ont été lus dans la section de géographie. Nous pourrions citer entre autres des mémoires :

« Sur la migration des plantes cultivées par rapport à l'ethnologie », par M. *J. Cranfurd.*

« Sur l'Arabie septentrionale et méridionale », par M. *W. G. Palgrave.*

« Sur la géographie physique de la partie orientale de la Crimée et de la péninsule de Taman », par le professeur *Ansted.*

SECTION DE MÉCANIQUE.

La section de mécanique s'est occupée presque exclusivement de canons rayés, de cuirasses pour les vaisseaux, de la pénétration de différentes espèces de boulets, sujets qui, je le pense, intéresseraient fort peu les lecteurs de la *Revue.*

Le meeting de Nottingham, en résumé, a été fort brillant. L'hospitalité des habitants de cette ville et des environs, envers les membres de l'Association, a été aussi empressée que possible. L'Association avait organisé de nombreuses excursions dans les environs, mais l'endroit le plus visité a été Newstead Abbey, où est né lord Byron, et qui est encore plein des souvenirs du grand poëte. L'Association doit se réunir en 1867 à Dundee, sous la présidence du duc de Buccleuch.

E. BARBIER.

(1) Voyez dans la *Revue des cours littéraires,* numéro du 23 février 1866, une conférence sur les « sources du Nil », faite par Sir S. Baker à l'Institution royale de Londres.

MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE.

PHYSIOLOGIE COMPARÉE.

COURS DE M. VULPIAN (1).

Théorie des sécrétions.

Nous avons vu à peu près tout ce qui est relatif à l'influence du système nerveux sur les glandes salivaires. Je n'ai qu'un mot à ajouter sur les effets obtenus par l'empoisonnement par le curare. J'ai indiqué, dans mon cours sur le système nerveux (2), quelle était mon opinion sur le mécanisme de cet

(1) Voy. les nos 32, 33, 37, 40, 44 et 45.

(2) Voyez dans la *Revue des cours scientifiques* le cours de M. Vulpian en 1864, leçons VIII et IX (1re année, 1864, p. 625 et suiv.) et

Digitized by Google

empoisonnement. Or, lorsqu'on empoisonne un chien par le curare, on observe parfois une sécrétion très-abondante, mais qui ne se fait pas d'une manière constante. M. Cl. Bernard croyait qu'on produisait une paralysie des nerfs glandulaires, entre autres de la corde du tympan. Or, les expériences que j'ai faites sur ce sujet m'ont conduit à des résultats en désaccord avec l'opinion de M. Cl. Bernard. Sur ces chiens empoisonnés par du curare et soumis à la respiration artificielle j'avais introduit des tubes métalliques dans le canal de Wharton et le canal de Sténon d'un côté, et j'avais préparé de ce côté les principaux nerfs à l'influence desquels la sécrétion salivaire est soumise. Or, après s'être assuré que les nerfs sciatiques avaient perdu toute action sur les muscles, on introduisait du vinaigre dans la cavité buccale, il y avait ordinairement une accélération de l'écoulement de la salive sous-maxillaire; mais cet effet était peu marqué. Au contraire, si l'on coupait le lingual à une certaine distance au-dessous du point d'où se détachent les filets du nerf tympanico-lingual, et si l'on galvanisait le bout central du lingual, il y avait une augmentation très-prononcée de la sécrétion salivaire. Au lieu d'un liquide légèrement opalescent et dont les gouttes se succédaient à très-longs intervalles, on voyait sortir assez rapidement plusieurs gouttes devenant de plus en plus limpides. Si l'on coupait alors de nouveau le lingual au-dessus de l'endroit d'où se détachent les filets du tympanico-lingual et si l'on galvanisait le bout périphérique résultant de cette nouvelle section, il se produisait aussitôt un écoulement rapide de salive, tout aussi rapide que lorsqu'on fait cette expérience chez un animal empoisonné. D'autre part, la galvanisation du nerf pneumogastrique provoquait constamment une augmentation très-notable de l'écoulement salivaire par le canal de Warthon et par le canal de Sténon. Enfin la galvanisation directe de la glande parotide ou de la glande sous-maxillaire amenait un écoulement plus rapide par le canal de Sténon comme par le canal de Wharton. Ces diverses excitations déterminaient aussi, comme dans les conditions ordinaires, une suractivité de la sécrétion des glandes sublinguales.

Ainsi le curare ne paralyse pas, ou ne paralyse que très-incomplétement les nerfs destinés aux glandes. Je tiens à vous répéter que c'est là une confirmation d'un fait général. Le curare, même à assez fortes doses, n'agit que sur les nerfs des membres et des autres muscles striés (le cœur excepté). Il n'a qu'une faible action sur le pneumogastrique, le grand sympathique, sur les filets nerveux iridiens provenant du moteur oculaire commun, et, comme nous le verrons, sur les filets propres ou anastomotiques du nerf vague destiné aux muscles lisses de l'œsophage et de l'estomac, et sur les nerfs glandulaires. Il est permis d'établir, comme un résultat expérimental certain, que le curare ne peut agir que sur les fibres nerveuses qui se terminent d'une certaine façon dans les muscles, en portant son action sur le point même où a lieu la terminaison véritable, et que cette condition n'existe que pour les fibres nerveuses destinées aux muscles striés de la vie animale (1).

En résumé, au point de vue de la physiologie générale, il ressort de l'étude que nous venons de faire un intérêt de premier ordre, car nous pouvons étendre à toutes les sécréitons les résultats que nous avons constatés pour la sécrétion salivaire.

La sécrétion est évidemment un fait de nutrition intime, et comme tel, il est indépendant au fond du système nerveux. Cette manière de voir trouve un appui des plus solides dans ce fait que les sécrétions s'opèrent chez les végétaux par des organes qui ont une assez grande ressemblance avec les organes sécréteurs des animaux, et par cet autre fait, plus démonstratif, que, chez les animaux inférieurs, il s'opère également des sécrétions alors que le système nerveux manque absolument, comme le prouve l'étude des Polypes d'eau douce et des Rhizopodes.

Le système nerveux n'est, relativement aux sécrétions comme pour toutes les autres fonctions, qu'un appareil de perfectionnement servant à établir des relations plus rapides et plus précises entre les causes excitatrices de la fonction et la fonction elle-même. Telles sont nos conclusions, et nous en aurions fini avec la salive s'il ne nous fallait pas encore indiquer rapidement quel est son rôle physiologique.

Chez certains animaux, la salive peut intervenir de deux façons dans les phénomènes de la digestion : elle peut avoir une action mécanique et une action chimique. La première de ces deux actions est la plus répandue et se manifeste de plusieurs façons.

D'abord chez quelques animaux, témoin le Fourmilier, la salive facilite la préhension des aliments; chez presque tous, elle aide à dissoudre les aliments, qui peuvent ainsi exercer plus facilement leur action sur les nerfs du goût. La salive favorise la mastication, comme le prouve cette énorme sécrétion,—42 kilogrammes chez les chevaux et 56 chez le bœuf,— qui se fait au moment des repas. Sans la salive, la mastication des substances sèches qui constituent la nourriture des herbivores ne pourrait pas avoir lieu. Par sa viscosité, elle agglutine les parcelles alimentaires et constitue un bol qui peut être plus facilement dégluti.

Mais c'est surtout chez les Serpents que l'action de la salive dans la déglutition est manifeste. Le Serpent avale des proies qui sont souvent plus grosses que sa tête. Ces proies, en outre, sont couvertes de poils et de plumes, et il serait absolument impossible aux Serpents de les déglutir si, par la pression de leurs anneaux, ils ne commençaient pas par réduire à la plus petite masse possible le volume de cet aliment. Mais cela ne suffit pas, il faut encore lubrifier la proie avec une salive qui est sécrétée par de nombreuses glandes. Ce sont de petites glandes dites labiales, casées entre la peau et la face externe des deux mâchoires; elles sont très-nombreuses, s'ouvrent à la base des dents et y versent un liquide très-gluant, la salive. Le fluide lacrymal vient s'ajouter à cette salive. Or la glande lacrymale est très-développée chez les Serpents, et le produit de cette sécrétion arrive dans la cavité buccale.

Au dire de M. Liebig, la salive servirait par sa viscosité à introduire de l'air dans l'estomac. On se demande l'utilité d'une pareille introduction, en admettant qu'elle s'effectue réellement. Enfin on a dit aussi que l'imbibition par la salive favorise la pénétration intérieure des autres sucs digestifs.

L'action chimique de la salive porte sur les aliments qui se distinguent en trois catégories différentes. Or, sur les aliments gras, son action est absolument nulle, et nulle aussi sur les

leçon XIX (2e année, 1865, p. 215). — Voyez aussi *Leçons sur la physiologie générale et comparée du système nerveux*, par M. Vulpian.

(1) Voyez sur tous ces faits, dans la *Revue des cours scientifiques*, 2e année, 1865, le cours de M. Cl. Bernard au collége de France en 1865 sur les propriétés physiologiques du curare et particulièrement les leçons XVI, XVII (p. 242 et suiv.), XXIII (p. 379 et suiv.), XXV (p. 404 et suiv.), XXXIV (p. 532 et suiv.) et surtout XXXVI (p. 625 et suiv.).

Digitized by Google

aliments albuminoïdes; elle n'a d'action chimique que sur les aliments amylacés et chez certains animaux. Cette action est due à la diastase salivaire dont je vous ai déjà entretenus assez longuement à propos de la salive mixte pour n'avoir pas besoin d'y revenir. Je vous ai démontré qu'elle existait dans la plupart des salives mixtes, à doses très-variables, et que sa présence est très-inconstante dans les salives élémentaires. Si l'on recueille des salives élémentaires chez le Chien, le Cheval, le Mouton, le Bœuf, on n'observe sous leur influence aucune action sur les matières amylacées.

Chez l'Homme, le Rat, la Souris, le Lapin, toutes les salives élémentaires contiennent, au contraire, de la diastase salivaire. Sa présence constante dans le tissu même des glandes montre bien que sa formation est un phénomène analogue à la nutrition, et c'est cette présence de la diastase salivaire qui a permis de faire des salives artificielles par la macération des tissus mêmes des glandes.

Mais, même chez les animaux chez lesquels la salive jouit de cette propriété, et cela d'une façon assez énergique, l'effet produit dans la cavité buccale par la salive sur les matières amylacées est assez faible. Il faut que l'amidon ou la fécule soient hydratés, sans quoi on recueille au bas de l'œsophage des bols alimentaires formés de matières sèches et seulement imbibés de salive ; on ne trouve pas de trace de glycose. Ce n'est que plus tard, dans l'estomac, que s'achève l'action saccharifiante; et cette action, du reste, l'acidité du suc gastrique ne saurait l'empêcher. Aussi, M. Jacubowitch a vu que lorsqu'on donnait des matières féculentes à des Chiens ayant une fistule gastrique, les produits de la digestion, recueillis par l'ouverture contenaient du sucre quand les canaux salivaires étaient intacts; ils n'en contenaient pas, au contraire, si les canaux avaient été liés préalablement. MM. Bidder et Schmidt ayant mélangé de la salive et du suc gastrique à de l'empois d'amidon ont constaté que la saccharification avait lieu tout aussi rapidement qu'avec de la salive pure. M. Funke a reconnu de son côté que le contenu de l'estomac délayé dans de l'eau donnait un liquide, lequel, après filtration, possédait à un haut degré la propriété de saccharifier l'amidon. Enfin, je citerai les expériences confirmatives faites par M. Brown-Séquard sur lui-même, et celles qui ont été instituées par MM. Grünewaldt et Schroeder de Dorpat sur une femme ayant une fistule gastrique. L'empois d'amidon injecté par la fistule était recueilli, au bout d'un quart d'heure, tout à fait liquéfié, saccharifié. C'en est assez, je crois, pour établir, contrairement à ce qui a été avancé par d'autres physiologistes, que l'action de la salive peut continuer à se produire dans l'estomac, malgré la réaction acide de son contenu.

Rôle du système nerveux dans la déglutition.

Après avoir décrit les voies par lesquelles le bol alimentaire trituré et imprégné de salive quitte la cavité buccale pour gagner l'estomac, et après vous avoir décrit les temps successifs de la déglutition, je veux vous dire quelques mots du rôle du système nerveux dans ce phénomène : je m'occuperai tout spécialement, dans ce moment, des nerfs qui se rendent à l'œsophage. Cependant, avant d'en arriver là, je tiens à appeler votre attention sur l'action qu'exercent les nerfs hypoglosses sur les mouvements de la langue dans la déglutition. Nous avons vu que les deux premiers temps de la déglutition exigent le concours de la langue, et vous savez que cet organe a ses muscles animés par les nerfs hypoglosses. Les mouvements de la langue sont même si indispensables, que la plupart des physiologistes ont admis, probablement sans avoir fait l'expérience, et sans doute comme une conséquence nécessaire des données anatomiques, que la section des deux nerfs hypoglosses amène la mort des animaux par inanition en rendant la déglutition impossible. Or, il n'en est rien en réalité. Nous avons, M. Philipeaux et moi, coupé souvent sur des chiens les deux nerfs hypoglosses, soit en bornant l'expérience à cette simple section, soit en arrachant même toute la partie centrale des deux nerfs, et nous n'avons pas vu d'ordinaire la mort suivre ces opérations. Les animaux avalaient avec une grande difficulté, mais ils avalaient; ils pouvaient même boire en plongeant leur museau dans l'eau. Voici un chien opéré depuis plus d'un an, et chez lequel le bout central des deux nerfs hypoglosses a été entièrement arraché. Vous voyez qu'il se porte très-bien; il est même assez gras.

Nous avons même été plus loin : nous avons, sur des chiens ainsi opérés, coupé les deux nerfs linguaux, soit en laissant les choses dans cet état, soit en unissant le bout central de chaque nerf lingual avec le bout périphérique du nerf hypoglosse correspondant; et, encore dans ces cas, la mort n'a été observée qu'exceptionnellement, probablement par suite de causes surajoutées.

Ainsi donc, la section des deux nerfs hypoglosses n'abolit pas, comme on l'avait dit, toute possibilité de déglutition. Les mouvements de la langue sont-ils absolument paralysés par cette opération? Nous ne saurions le dire. Les animaux ne peuvent plus faire sortir leur langue de la cavité buccale; lorsqu'ils aboient, elle reste immobile sur le plancher de cette cavité; les substances les plus amères mises en contact avec la membrane muqueuse linguale, dans les cas où les nerfs linguaux sont intacts, ne suscitent plus aucun mouvement de cet organe ; mais ces faits, bien souvent constatés, ne suffisent peut-être pas pour me permettre de conclure qu'il y a paralysie entièrement complète de la langue. La base de cet organe recevrait-elle quelques fibres motrices d'une autre source que des nerfs hypoglosses? Je laisse cette question sans réponse; mais je suis en droit de dire, en tout cas, que la déglutition peut encore se faire, même alors que les mouvements de la langue, soumis aux nerfs hypoglosses, sont tout à fait impossibles.

Je vais maintenant vous parler des mouvements de l'œsophage.

Les nerfs qui se rendent à l'œsophage proviennent du pneumogastrique et du grand sympathique. Lorsqu'on suit le nerf vague, depuis son origine au bulbe rachidien jusqu'à sa terminaison, bien des difficultés se présentent à l'anatomiste pour savoir si ce sont à des filets propres du pneumogastrique ou à des filets fournis par des anastomoses que l'on a affaire. En effet, au bulbe rachidien on voit très-rapprochés les uns des autres d'abord cinq ou six filets supérieurs, qui sont les origines du nerf glosso-pharyngien, puis ceux qui doivent constituer la nerf pneumogastrique, et enfin les filets radiculaires du spinal. Dès leur sortie du trou déchiré postérieur, le pneumogastrique reçoit déjà une anastomose du spinal, puis viennent des anastomoses du facial, du glosso-pharyngien, de l'hypoglosse, du grand sympathique, au niveau du ganglion cervical supérieur, et enfin les rameaux émanés des ganglions cervical supérieur, cervical moyen et

Digitized by Google

inférieur, des ganglions thoraciques du grand sympathique, pour se jeter dans le pneumogastrique. Mais comme ces ganglions s'anastomosent avec les nerfs rachidiens, il en résulte que le nerf pneumogastrique emprunte des filets moteurs aux branches antérieures des paires cervicales et dorsales supérieures, bien que cet emprunt soit fait indirectement.

Tel est le tronc qui va se distribuer au pharynx, à l'œsophage et à l'estomac.

Vous voyez que l'expérimentation seule pourra répondre à la question que nous posons : savoir si le pneumogastrique agit par lui-même ou s'il n'agit que par ses anastomoses. Déjà MM. Bouchardat et Sandras avaient noté que la section des deux pneumogastriques au cou produisait une paralysie de l'œsophage.

Mais après les anastomoses que je vous ai énumérés, il est difficile de dire ce que l'on entend par pneumogastrique au cou, d'autant mieux que chez certains animaux, le Chien, par exemple, le nerf vague est uni si intimement avec le cordon cervical du grand sympathique que l'on a de la peine à les séparer, ce qui n'a pas lieu chez d'autres animaux, comme le Chat, le Lapin, etc. Le problème que nous devrons résoudre par des expériences portant sur les origines même des nerfs a déjà été l'objet de recherches et de discussions.

Peu de temps après la découverte de Magendie, et dès que fut établie par lui la différence entre les nerfs de sentiment et ceux du mouvement pour les racines rachidiennes, on chercha à appliquer cette distinction aux nerfs crâniens. En 1832, M. Bischoff publia un mémoire bien connu, dans lequel il crut pouvoir avancer que le pneumogastrique est un nerf exclusivement sensitif à son origine, et qu'il ne devient mixte que plus loin, par son union avec la branche interne du nerf spinal, qui serait l'analogue d'une racine antérieure. Je ne vous citerai pas la série d'expériences faites par ce physiologiste, car elles ne donnèrent aucune constatation pour l'œsophage et elles sont, par conséquent, étrangères à notre étude. L'opinion de Bischoff a été adoptée et soutenue par M. Longet, qui a essayé de la défendre à l'aide de considérations anatomiques et d'expériences physiogiques.

M. Cl. Bernard, en 1844, a combattu cette opinion et est parvenu, en disséquant la branche externe du spinal depuis le muscle sterno-mastoïdien jusqu'au trou déchiré postérieur, en saisissant ensuite ce filet avec une pince, à arracher le spinal avec toutes ses origines médullaires et bulbaires, en laissant intact le pneumogastrique. Cette opération réussit très-bien sur le Chat, le Lapin et le Cheval, Les animaux ainsi opérés continuaient à déglutir ; le seul trouble passager qui venait entraver la déglutition était dû à une occlusion très-parfaite de la glotte. Enfin la fonction vocale du larynx seule était abolie.

Puis, en sectionnant le pneumogastrique, les mouvements de l'œsophage et de l'estomac sont complétement abolis, et M. Cl. Bernard en conclut que le pneumogastrique possède une influence motrice indépendante. Mais, dans cette expérience, on ne tient nul compte des anastomoses nombreuses que d'autres nerfs fournissent au nerf vague.

M. Auguste Waller fit aussi des expériences sur ce sujet en 1856. Il eut l'idée d'appliquer ici la méthode qui lui avait fourni d'heureux résultats sur d'autres points de la physiologie du système nerveux. Il arracha le spinal d'un côté sur des Chats, par le procédé de M. Cl. Bernard, puis, au bout d'une quinzaine de jours, lorsque toutes les fibres du spinal avaient dû subir la dégénérescence qui a toujours lieu dans ces conditions, il mit à nu les deux nerfs vagues dans la région du cou, et il examina s'ils avaient tous les deux conservé leur action sur le cœur et sur l'estomac. Il constata, et je pus voir avec lui, — car j'assistais à ses expériences, — que la galvanisation du nerf vague, du côté où le spinal était intact, déterminait un arrêt diastolique des battements du cœur et provoquait au bout d'un moment un mouvement vermiculaire très-manifeste des parois de l'estomac : du côté opposé, c'est-à-dire du côté où le nerf spinal avait été arraché, la galvanisation, faite exactement de même, n'avait aucune action, ni sur le cœur, ni sur l'estomac.

Ces expériences de M. Waller venaient évidemment à l'appui de l'hypothèse de Bischoff, puisqu'elles semblaient prouver que le spinal est la seule source de l'action motrice que le nerf pneumogastrique exerce sur le cœur et sur l'estomac. Mais la question ne devait pas en rester là.

En 1862, M. Chauveau fit paraître dans le journal de *Physiologie* de M. Brown-Séquard, un mémoire très-étendu et très-intéressant *Sur le nerf pneumogastrique envisagé comme agent excitateur et comme agent coordinateur des contractions œsophagiennes, dans l'acte de la déglutition.* D'après ses expériences nombreuses et variées, M. Chauveau conclut que le nerf pneumogastrique est le seul agent excitateur des mouvements de l'œsophage dans l'acte de la déglutition. L'excitation directe des racines de ce nerf dans le crâne déterminait toujours des contractions très-fortes de l'œsophage, tandis que l'excitation du nerf spinal faite de même ne provoquait les contractions que dans le constricteur supérieur du pharynx et dans les muscles du larynx, moins les crico-thyroïdiens et parfois les crico-aryténoïdiens postérieurs. Quant aux autres nerfs qui envoient des anastomoses au nerf pneumogastrique, leur excitation directe ne produisit pas non plus le moindre mouvement, soit dans l'œsophage, soit dans l'estomac.

Nous voici de nouveau, par ces expériences, entraînés dans un sens tout opposé à celui dans lequel MM. Bischoff et Longet avaient tenté de conduire les physiologistes. Mais ce n'est pas tout : l'année suivante, en 1863, M. Van Kempen publiait un mémoire dans lequel il retrouvait par de nouvelles expériences les résultats qu'il avait déjà fait connaître en 1842, à savoir que le nerf spinal ne serait même pas chargé d'animer les muscles du larynx. Il n'agissait sur ces muscles de même que sur ceux du pharynx que par action réflexe, à titre de nerf sensitif.

Que faire en présence de ces résultats contradictoires? J'ai pensé qu'il n'y avait qu'un parti à prendre, c'était de chercher à me former une opinion par moi-même, en répétant les expériences instituées par ces divers physiologistes sur les nerfs de l'œsophage. Je vais vous indiquer le procédé que j'ai employé et les résultats que j'ai obtenus.

On coupe les deux carotides sur un Chien. Après quelques instants, la mort est imminente ; alors, par un rapide trait de scie, on enlève la calotte crânienne, la partie supérieure du cerveau et la plus grande partie du cervelet. Puis on ouvre largement la cage thoracique et la cavité abdominale, de façon à mettre à découvert l'œsophage dans toute sa longueur. On soulève les hémisphères cérébraux et la protubérance et l'on excite les différents nerfs crâniens, on est sûr alors d'agir sur des nerfs purs de toute anastomose.

L'excitation successive des nerfs olfactifs, optiques, moteur

Digitized by Google

oculaire commun, ne produit aucun mouvement sur l'appareil digestif, et notez bien que pour éliminer toute cause d'erreur, au lieu de me servir des moyens galvaniques pour produire cette excitation, je serre les filets nerveux entre les mors d'une pince. Le pincement du nerf trijumeau ne détermine non plus aucun mouvement, bien que je répète à plusieurs reprises cette excitation. Lorsque la pince saisit le facial, il y a une contraction très-évidente et se reproduisant à plusieurs reprises dans les muscles du pharynx et dans ceux de l'œsophage. Pour le pharynx et la partie cervicale et thoracique supérieure de l'œsophage, il n'y a aucun doute sur ces contractions, qui sont brusques, violentes et qui coïncident avec chaque excitation. Le doute ne saurait être possible que pour la portion très-voisine de l'estomac et pour l'estomac lui-même. Cependant M. Chauveau a obtenu, dans cette même expérience, des résultats qui sont en désaccord avec ceux que j'ai obtenus; mais il suffit d'être témoin de ces contractions qui suivent l'excitation du nerf facial pour voir que le doute, en pareille matière, n'est pas possible. Soit que l'on pince le facial droit, soit que l'on pince le facial gauche, on obtient des contractions très-évidentes et l'on peut les reproduire à plusieurs reprises. Jusqu'à cette expérience, on ne connaissait que l'influeuce du facial sur les muscles de la face et sur le voile du palais par l'intermédiaire du grand nerf pétreux superficiel et du ganglion sphéno-palatin. Les résultats que je viens de donner montrent l'importance de l'anastomose, qui, par le rameau de la fosse jugulaire, unit le facial au pneumogastrique.

Après cet effet obtenu par l'excitation du facial, j'ai passé à l'excitation du glosso-pharyngien, nous observons une contraction non douteuse de l'œsophage et dans toute sa longueur. Cette contraction se produit par l'irritation des nerfs des deux côtés. Mais nous sommes ici dans le voisinage des nerfs pneumogastriques. Aussi nous devons agir avec circonspection pour que notre excitation intéresse seulement le glosso-pharyngien, pour cela, il faut borner l'irritation aux filets les plus supérieurs du nerf. De plus, la contraction ainsi obtenue me paraît appartenir à la classe des phénomènes réflexes. Après avoir sectionné le nerf, l'excitation du bout central seul produit la contraction de l'œsophage, et lorsque j'agis sur le bout périphérique, je n'obtiens aucun mouvement. Ainsi me paraissent devoir être expliqués les résultats contradictoires observés par M. Chauveau. En effet, tandis que je me livrais à ces recherches, il m'est arrivé d'exciter inutilement le nerf glosso-pharyngien chez un Chien dont le bulbe depuis trop longtemps n'avait pas reçu de sang et chez lequel, par conséquent, cette partie des centres nerveux avait perdu ses propriétés de centre réflexe.

J'arrive à l'excitation des nerfs pneumogastriques. En pinçant les radicules les plus élevées et en ayant soin de ne porter l'excitation exclusivement que sur ces filets, on observe une contraction très-vive et très-apparente de toute la longueur de l'œsophage et du pharynx : ces résultats concordent tout à fait avec ceux qu'a obtenus M. Chauveau et sont en opposition complète avec les vues de MM. Bischoff et Longet. Mais là ne se borne pas l'expérience. Je sectionne ces filets et j'excite tour à tour le bout central et le bout périphérique. Dans ces conditions, lorsque le nerf pneumogastrique du côté opposé est intact, j'obtiens également, dans les deux cas, une contraction de l'œsophage, donc les filets du pneumogastrique ont une action propre motrice centrifuge et une action indirecte ou réflexe. On ne peut invoquer aucune objection tirée du mode expérimental, puisque, pour me mettre à l'abri des causes d'erreur, je ne me suis pas servi de l'électricité, mais uniquement d'une excitation mécanique. Je dois répéter que, si sur d'autres points, mes résultats diffèrent de ceux obtenus par M. Chauveau, ici il n'y a pas la moindre divergence. Nous arrivons donc à cette première solution, à savoir que chez le Chien le pneumogastrique, dès son origine, est un nerf mixte et qu'il exerce sur l'œsophage une action directe par ses fibres centrifuges et une action indirecte par ses fibres centripètes.

J'arrive au nerf spinal. Ici, nous rencontrons une difficulté plus grande encore que pour les racines du pneumogastrique, parce qu'il faut éviter que l'excitation n'intéresse aussi les filets du pneumogastrique. J'ai fait l'expérience sur plusieurs Chiens, et presque jamais je n'ai obtenu de contraction de l'œsophage en pinçant même les filets supérieurs du nerf spinal. Ce résultat s'accorde encore avec ceux qu'a publiés M. Chauveau et avec ceux des expériences de M. Cl. Bernard. Comme tous les autres expérimentateurs, à l'exception de M. van Kempen, j'ai d'ailleurs constaté que l'excitation des filets supérieurs du nerf spinal détermine des contractions des muscles du larynx et je me suis assuré que ce nerf agit dans ce cas directement et non pas par voie réflexe. Quant aux filets inférieurs, leur action motrice se borne aux muscles de l'épaule.

Ainsi, bien qu'il nous reste un certain doute relativement à l'action de la branche interne du spinal, cependant nous pouvons dire que cette action, si elle existe chez le Chien, est au moins très-faible, et que les seuls nerfs qui exercent une influence motrice directe sur les muscles œsophagiens, chez cet animal sont le nerf facial et surtout le nerf pneumogastrique lui-même. J'ai, en effet, excité les différents autres nerfs que je n'ai pas encore mentionnés, et qui ont des relations anastomotiques avec le nerf pneumogastrique, et je n'ai observé aucun mouvement de la couche musculaire de l'œsophage. C'est là ce que j'ai constaté en pinçant les racines du nerf hypoglosse dans le crâne, en excitant de la même façon les divers filets qui émanent du ganglion cervical supérieur, et enfin en contondant dans le canal rachidien les racines des premières paires nerveuses cervicales.

Comme le point le plus controversé de cette partie de la physiologie est certainement l'action du nerf spinal sur l'œsophage, je ne me suis pas contenté des expériences que je viens de vous relater; j'ai voulu mettre en usage aussi le procédé de M. Waller. Ce physiologiste, dans les expériences que je vous ai rappelées, avait eu surtout en vue d'étudier l'influence du nerf spinal sur l'estomac et sur le cœur; il fallait voir, en employant la même méthode, ce que deviendrait l'action du pneumogastrique sur l'œsophage, lorsque le nerf spinal aurait subi la dégénérescence qui suit l'arrachement de sa partie centrale.

Sur un jeune Chat, j'avais arraché depuis seize jours le bout central du spinal du côté gauche par le procédé de M. Cl. Bernard. On met à nu les deux pneumogastriques dans la région du cou, puis on ouvre l'abdomen sur la ligne médiane, de façon à bien voir l'estomac, et l'on voit que la galvanisation portée sur le côté opéré ne produit pas la plus légère contraction dans l'estomac, tandis que du côté droit, côté sain, on produit des contractions vermiculaires des plus évidentes : en outre, le cardia est légèrement tiré en haut

Digitized by Google

par les contractions des fibres longitudinales de l'œsophage.

Pour observer ce qui se passe du côté de l'œsophage, on ouvre le thorax en enlevant le sternum, de manière à bien voir le cœur et l'œsophage. On entretient la respiration artificielle et l'on galvanise les pneumogastriques. La galvanisation du pneumogastrique gauche, côté qui a été opéré, ne produit pas la plus légère modification dans les battements du cœur, ni la moindre contraction de la tunique musculeuse de l'œsophage. Lorsque la galvanisation est portée sur le pneumogastrique du côté sain, le cœur s'arrête en diastole; et, en même temps, il se manifeste une contraction des plus énergiques dans tout l'œsophage. Seulement cette contraction est brusque dans la partie supérieure de l'œsophage, tandis qu'elle est lente et vermiculaire dans la partie inférieure. Je m'arrête peu sur cette dernière différence, si facile à comprendre, lorsqu'on sait que chez le Chat la partie supérieure de la tunique musculeuse de l'œsophage est formée de fibres striées, tandis que dans la portion inférieure ou postérieure elle est constituée exclusivement de fibres lisses. On observe donc dans cette portion des mouvements qui ont les caractères des mouvements de la vie organique, c'est-à-dire des contractions lentes à se produire après l'excitation et d'une certaine durée; dans la partie supérieure, les contractions se manifestent à peu près en même temps que l'excitation, et cessent presque aussitôt que l'excitation elle-même.

Mais ce qui me frappait beaucoup dans cette expérience, et vous devez le comprendre, c'est que le résultat qu'elle donnait était en opposition complète avec ceux que j'avais obtenus en opérant d'une autre façon sur le Chien. Chez ce dernier animal, j'étais arrivé, ainsi que je viens de vous le dire, à conclure que très-probablement le nerf spinal n'a aucune influence sur les mouvements de l'œsophage, ou que s'il en a une, elle est très-faible; et voici que, chez le Chat, je constate que toute l'influence motrice du nerf vague sur l'œsophage appartient à la branche interne du nerf spinal. Comment sortir de cette difficulté?

Je fis la même expérience sur le Lapin. Douze ou quinze jours après l'arrachement du spinal d'un côté, je galvanisai le nerf vague du côté opposé : je constatai des mouvements considérables dans la tunique musculaire de l'œsophage, dans l'estomac; et, de plus, il y avait arrêt diastolique du cœur. La galvanisation du nerf vague du côté opéré déterminait une contraction faible, mais très-nette, des couches musculaires, soit de l'estomac, soit de l'œsophage, et en même temps il y avait un léger ralentissement des mouvements du cœur. Le pincement des deux nerfs vagues donnait des résultats tout à fait conformes à ceux obtenus par la galvanisation.

Le nerf spinal, chez le Lapin, a donc une certaine influence sur les mouvements de l'œsophage, mais ces mouvements sont loin de lui être soumis exclusivement.

Il devenait clair, par ces expériences, que le nerf spinal ne se comporte pas de même chez les différents animaux, relativement à son action sur l'œsophage. J'aurais voulu pousser la démonstration plus loin : il eût suffi pour cela d'arracher le nerf spinal d'un côté sur un Chien, et, une fois le temps nécessaire écoulé, d'examiner l'effet des excitations des deux nerfs vagues sur l'œsophage. Mais je n'ai pas réussi à pratiquer cette avulsion, opération extrêmement difficile, souvent impossible à faire, chez le Chien.

Nous devons donc ici ne point tirer de conclusions générales, et ce n'est pas un des résultats les moins instructifs de ces recherches, que de voir un même nerf, le spinal, affectant en apparence le même mode d'origine et les mêmes relations anatomiques chez les divers animaux mis en expériences offrir des différences fonctionnelles aussi considérables chez les uns et les autres de ces animaux.

Les expériences que j'ai faites sur des animaux empoisonnés par le curare, et chez lesquels les mouvements du cœur étaient entretenus à l'aide de la respiration artificielle, ces expériences, dis-je, me paraissent aussi mériter votre attention. Dans tous les cas, les excitations des nerfs vagues n'étaient commencées que lorsqu'on s'était assuré que les nerfs sciatiques avaient perdu toute motricité. Quand l'expérience était faite sur un Chien, voici ce que l'on constatait : la galvanisation de l'un ou de l'autre pneumogastrique déterminait des mouvements très-nets dans l'estomac, mais l'œsophage restait complétement immobile; il y avait aussi arrêt du cœur en diastole. Or, chez le Chien, remarquez-le bien, la tunique musculaire de l'œsophage est constituée dans toute sa longueur par des fibres striées. Chez le Chat ou chez le Lapin, au contraire, outre l'effet sur l'estomac et sur le cœur, on voyait se produire des contractions dans la portion inférieure de l'œsophage, contractions qui, comme celles de l'estomac, n'apparaissaient que quelques instants après l'excitation, et offraient le type péristaltique, la portion supérieure de l'œsophage ne présentait aucun mouvement. Chez ces animaux, cette dernière portion de la tunique musculaire de l'œsophage est formée de fibres striées, tandis que la partie inférieure ne contient presque que des fibres lisses. Ainsi, chez le Chat et le Chien, le même nerf moteur est paralysé par le curare lorsqu'il se rend à des muscles à fibres striés, et il conserve son action quand il arrive des muscles à fibres lisses. Quelle meilleure preuve pourrais-je alléguer pour démontrer que ce poison, ainsi que je le soutiens depuis longtemps, n'agit pas sur les fibres nerveuses elles-mêmes, mais bien sur les points où se fait la communication de ces fibres nerveuses avec les fibres musculaires, et seulement lorsque cette communication se fait d'une certaine façon, peut-être uniquement lorsqu'il y a des plaques nerveuses motrices terminales, comme dans les muscles striés ordinaires (1)?

Mais je reviens à la détermination des nerfs qui agissent comme excitateurs des mouvements de l'œsophage, et j'ajoute à ce que je vous en ai dit en dernier lieu que les mouvements de ce conduit sont déterminés, non pas seulement par action directe du système nerveux, mais encore par action réflexe. C'est ce que M. Chauveau a mis hors de doute par ses expériences, c'est ce que j'ai constaté aussi sur le Chien. J'ai vu que lorsque les deux pneumogastriques sont intacts, la galvanisation de l'un de ces nerfs vers le milieu de la région thoracique détermine une vive contraction dans toute la longueur du conduit œsophagien; si l'un des pneumogastriques est mis à nu vers le milieu du cou, et si, après l'avoir coupé transversalement, on excite par la galvanisation le bout supérieur de ce nerf, il y a un mouvement très-net de contraction dans toute la longueur de l'œsophage. Ainsi, le nerf pneumogastrique contient un mélange de fibres motrices et de fibres sensitives, celles-ci provoquant par action réflexe la mise en jeu de celles-là. De plus, je vous rappelle que le nerf glosso-

(1) *Leçons sur le système nerveux*, p. 207.

Digitized by Google

pharyngien agit aussi sur l'œsophage par mécanisme réflexe.

Tels sont les résultats qui ressortent jusqu'à présent de mes études relatives à l'action du système nerveux sur les mouvements de l'œsophage. Je me propose de continuer ces recherches, et j'espère arriver plus tard à résoudre quelques-unes des difficultés que je n'ai pas pu encore surmonter.

E. Brémond.

ASSOCIATION SCIENTIFIQUE DE FRANCE.

SESSION TENUE A BORDEAUX.

CONFÉRENCE DE M. LE Dr J. JEANNEL.

La cristallisation et les phénomènes de sursaturation.

Messieurs,

Les corps peuvent se présenter sous trois états différents; ils sont solides, liquides ou gazeux, selon que les atomes qui les constituent sont plus ou moins écartés les uns des autres. C'est le calorique qui détermine l'écartement des atomes : en pénétrant les corps il surmonte l'attraction qui tend à les réunir jusqu'au contact. Le maximum d'écartement c'est l'état gazeux; alors les atomes se repoussent mutuellement avec une élasticité parfaite, et si l'espace qui les contient est illimité, leur écartement est indéfini. Si le corps gazeux perd du calorique, d'abord il se contracte, puis il passe à l'état liquide; alors les effets de l'attraction reparaissent; les atomes se réunissent, mais ils n'adhèrent entre eux que faiblement, ils roulent les uns sur les autres et cèdent au moindre effort. Si enfin le liquide perd du calorique, l'attraction devient prédominante, les atomes s'agrégent selon les formes de leurs surfaces, et de leur agrégation résulte un solide régulier, un cristal.

Les circonstances dans lesquelles nous voyons les gaz ou les liquides prendre l'état solide sont, le refroidissement des corps eux-mêmes, ou bien le refroidissement ou l'évaporation des dissolvants. La solidification des gaz ou des liquides peut encore avoir lieu sous l'influence d'une force particulière : la vie.

L'une des plus remarquables différences qui distinguent les corps vivants ou organisés des corps minéraux ou inorganiques, c'est que les premiers qui s'accroissent de dedans en dehors par intussusception affectent des formes arrondies ou irrégulièrement onduleuses, tandis que les seconds, prenant leur accroissement par juxtaposition offrent des formes anguleuses et géométriques.

Les corps organisés les plus simples, les globules du sang ou du lait, les cellules en chapelet de la levûre de bière, les granules d'amidon, produits primordiaux de l'élaboration vitale des gaz atmosphériques ou des liquides alimentaires, sont arrondis et se rapprochent plus ou moins de la forme sphérique; au contraire, le dépôt abandonné par une solution saline quelconque a des formes nettement accusées. Voyons les cristaux laissés par une goutte d'eau potable ; chacun des sels qui était dans le liquide s'est solidifié séparément; les petits rhoms boèdres sont le carbonate de chaux, les prismes plus ou moins moins allongés sont probablement le sulfate de chaux; les aiguilles que nous observons vers les bords sont les chlorures de magnésium et de calcium.

L'eau dont nous examinons le résidu minéral est cependant d'une pureté remarquable, c'est l'eau des fontaines de la ville de Bordeaux, qui ne contient par litre que 22 milligrammes de matières salines. Le produit de l'évaporation d'une goutte d'eau de puits va nous montrer une bien plus grande quantité de cristaux; quant à l'eau de mer, elle va cristalliser sous nos yeux. Ces cubes brillants qui naissent en si grand nombre, et qui s'accroissent rapidement, c'est le chlorure de sodium; il se dépose à mesure que l'eau s'évapore (1).

Toutes les substances minérales simples ou composées qui passent de l'état gazeux ou de l'état liquide à l'état solide prennent ainsi leur physionomie particulière souvent caractéristique. Les formes extrêmement diverses qu'elles affectent sont réductibles en six types ou systèmes cristallins selon leurs propriétés géométriques.

Ces formations régulières ne sont pas le seul phénomène qui accompagne la solidification des liquides. Une grande quantité de calorique est employée et absorbée pour déterminer le mouvement d'écartement des atomes au moment où ils prennent la forme liquide ou gazeuse; au contraire, lorsque le rapprochement a lieu, ce calorique redevient libre et reparaît. Voici de l'acétate de soude que nous avons fait chauffer dans ce ballon, les molécules du sel qui étaient groupées en cristaux prismatiques ont été écartées par le calorique; il est maintenant liquide; laissons-le refroidir à l'air libre; le thermomètre que nous y plongeons une fois descendu à la température à laquelle l'attraction prédomine sur la répulsion par le calorique, c'est-à-dire à laquelle la cristallisation commence, s'y maintient jusqu'à ce que la totalité du liquide soit solidifiée. Cette température est de + 58°. C'est ce même phénomène remarquable que nous offre l'eau refroidie jusqu'à la congélation, seulement la température à laquelle elle se solidifie est beaucoup plus basse. C'est cette température toujours facile à reproduire au moyen de la glace fondante que les physiciens ont choisie pour le zéro des thermomètres.

Tous les liquides qui se solidifient par le refroidissement, abandonnent ainsi du calorique et se maintiennent à une température fixe tant que dure leur solidification et réciproquement tous les solides suffisamment chauffés se liquéfient, et la température de fusion est fixe; de plus elle est différente pour chacun d'eux.

Les corps dissous dans l'eau chaude et qui cristallisent par le refroidissement de ce véhicule, nous offrent des phénomènes analogues. On obtient un très-grand nombre de sels en beaux cristaux par le refroidissement de leurs solutions.

Mais à ce mode de cristallisation quelques sels manifestent une exception singulière que voici. Lorsque certaines solutions chaudes saturées, c'est-à-dire contenant toute la quantité de sel que l'eau chaude peut dissoudre, refroidissent à l'abri de l'air libre dans des vases couverts, la cristallisation ne se fait pas ; on dit alors que la solution est sursaturée. Elle retient plus de sel en dissolution qu'elle n'en devrait retenir à la température à laquelle elle se trouve.

Voici dans ce ballon une solution sursaturée de sulfate de soude (322 de sulfate de soude pour 100 d'eau). J'enlève le couvercle ; dans peu d'instants elle va cristalliser en masse, car à la température de 18° où elle est actuellement l'eau ne

(1) Les projections étaient faites par M. Duboscq au moyen de la lampe électrique perfectionnée dont il est l'inventeur.

Digitized by Google

devrait retenir que 48 pour 100 de ce sel. C'est à Gay-Lussac qu'on doit la première observation de ce fait qui a été étudié plus tard avec beaucoup de soin par Lœwel, et plus tard par M. Gernez et M. Violette.

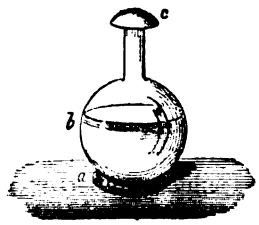


Fig. 315. — Expérience pour montrer la passivité de l'air produite par le frottement. — *a*, support du ballon. — *b*, ballon contenant une dissolution bouillante de 100 d'eau et 200 de sulfate de soude. — *c*, capsule (d'après la *Chimie* de M. Malaguti).

L'alun, le carbonate de soude, l'acétate de soude, le sulfate de magnésie, le sulfate de zinc, etc., etc., en général tous les sels dont les cristaux retiennent une grande proportion d'eau en combinaison pourront présenter ce phénomène. Au contraire les sels anhydres ne le présentent point : lorsqu'on laisse refroidir leurs dissolutions à l'abri de l'air, elles cristallisent aussi bien que si elles étaient à découvert.

Les solutions sursaturées cristallisent subitement au contact d'un corps sec, par exemple d'une baguette de verre, mais, chose surprenante ! une baguette qu'on vient de chauffer en l'approchant des charbons ardents ou en la plongeant dans l'eau bouillante et qu'on a laissé refroidir a perdu pour un temps plus ou moins long le pouvoir de provoquer la cristallisation.

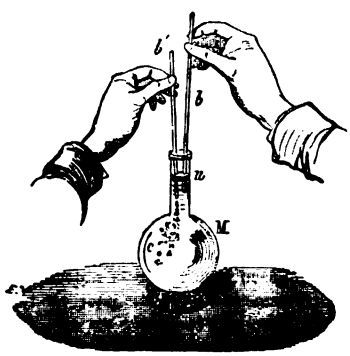


Fig. 316. — Expérience pour démontrer la passivité du verre qui a été chauffé. — M, matras rempli d'une dissolution sursaturée de sulfate de soude. — *n*, couche d'huile. — *b*, baguette de verre qui a été chauffée à 200 degrés. — *b'*, baguette de verre n'ayant pas été chauffée. — *c*, cristaux de sulfate de soude qui se forment au moment de l'immersion de la baguette *b'* (d'après la *Chimie* de M. Malaguti).

Elles cristallisent surtout subitement lorsqu'on les met en contact avec un cristal si petit qu'il soit du sel dissous ou d'un sel isomorphe.

Quelques sels qui contiennent beaucoup d'eau de cristallisation, comme l'alun, l'acétate de soude, le tartrate de soude, le phospate de soude, etc., fondent par la chaleur sans aucune addition d'eau ; s'ils refroidissent au contact de l'air libre ils reprennent leur état naturel, mais s'ils refroidissent à couvert, ils restent dans un état moléculaire particulier, évidemment très-analogue à celui qu'ils affectent dans les solutions sursaturées. Si alors on les expose à l'air libre ou si on les met en contact avec un cristal ordinaire de leur propre nature, ils reprennent leur état ordinaire ; la modification qui commence en un point se propage peu à peu dans la masse qui en même temps s'échauffe beaucoup. Une augmentation de volume considérable accompagne ce changement ; il en résulte que les vases à parois très-résistantes ou même des tubes épais sont brisés lorsqu'ils sont complétement pleins. C'est la reproduction de la rupture des vases par l'augmentation de volume de l'eau qui se congèle.

Cette curieuse expérience est très-facile à exécuter au moyen de l'alun. Il suffit de faire fondre ce sel dans un ballon et de le faire bouillir jusqu'à ce que sa température s'élève à +109°, puis de le laisser refroidir à couvert. Vous avez sous les yeux plusieurs ballons remplis d'alun refroidi dans les conditions que je viens d'indiquer ; le sel est maintenant solidifié en houppes de fines aiguilles qui ne rappellent nullement la forme cristalline ordinaire de l'alun. Je découvre les ballons, eh bien ! dans quelques instants vous les verrez se briser en éclats par suite de l'expansion du sel qui reprendra son état ordinaire au contact de l'air libre ; en même temps il se réchauffera jusqu'à la température de + 70°.

L'acétate de soude nous présente une particularité non moins intéressante. Il fond dans son eau de cristallisation à la température de + 58° ; nous l'avons déjà dit. Si on le laisse refroidir à couvert, il reste modifié, comme à l'état de solution sursaturée. Vous pouvez constater qu'il est en paillettes chatoyantes nageant dans un liquide transparent. Maintenant je le découvre, je le touche avec un corps sec ou je le mets en contact avec un cristal d'acétate de soude ordinaire ; il va revenir à l'état cristallin. Voyez ! la modification se propage rapidement de la surface vers le fond du ballon ; la masse translucide devient blanche et opaque ; en même temps le sel se réchauffe jusqu'à une température voisine de celle de + 58° à laquelle il avait été fondu. 100 grammes d'acétate de soude refroidis à 0° à l'abri de l'air, dégagent pendant le retour à l'état cristallin ordinaire une quantité de chaleur assez considérable pour fondre 36 grammes de glace. Ainsi il ne serait pas impossible au moyen de ce sel d'emmagasiner la chaleur solaire et de la faire reparaître à volonté, car on peut aisément dans nos climats obtenir sous des chassis vitrés une température supérieure à celle qui détermine la fusion de l'acétate de soude.

Quelle est donc la cause de ces singuliers phénomènes ? Plusieurs physiciens distingués ont prétendu qu'il existe dans les poussières atmosphériques une foule de cristaux infiniment petits, dont la chute sur les solutions détermine les cristallisations, et qui sont les conditions nécessaires de toute propagation cristalline. Cette *pancristallie*, parallèle à la panspermie de M. Pasteur, ne me paraît guère soutenable. Il faudrait un procréateur à un cristal comme à un être vivant. Cette théorie nouvelle repose sur un fait observé par un savant physicien (1), et que je ne veux pas contester, à savoir qu'il existe du sulfate de soude dans les poussières atmosphériques, lesquelles poussières déterminent infailliblement la cristallisation de la solution sursaturée de sulfate de soude, tandis qu'un très-grand nombre de substances non mêlées de sulfate de soude ne déterminent pas cette cristallisation. D'ailleurs, une goutte d'eau à travers laquelle on fait passer au moyen d'un aspirateur une masse d'air de plusieurs mètres cubes, finit par con-

(1) M. Gernez.

Digitized by Google

tenir une quantité de sulfate de soude chimiquement et physiquement appréciable. Par induction, on admet que les sels très-nombreux qui peuvent offrir le phénomène de la sursaturation ne cristallisent au contact de l'air que grâce à la chute de quelque cristal infiniment petit de leur propre substance. Plus tard, on a ajouté : ou tout au moins d'un sel isomorphe.

Je pourrais renverser par le raisonnement cette théorie, qui ne s'appuie en réalité que sur un seul fait : l'existence des sulfate de soude dans les poussières atmosphériques, et qui suppose dans l'air une quantité prodigieuse de substances et de produits de l'industrie humaine, dont on n'y trouve pas la moindre trace; mais j'aime mieux lui opposer des faits et des expériences.

Voici un ballon contenant de l'acétate de plomb. Ce sel a été fondu dans son eau de cristallisation ; la fusion a eu lieu à la température de + 56°,25. Je le laisse refroidir à l'abri de l'air, le goulot du ballon couvert d'une capsule. Lorsqu'il sera refroidi jusqu'à la température de + 30° il cristallisera subitement et se prendra en masse, en même temps il se réchauffera jusqu'à + 56°,25. Si j'accélère le refroidissement sur un point de la paroi du ballon par le contact d'un morceau de glace, je détermine dans ce point la naissance des cristaux. Voilà donc une solution sursaturée qui ne peut persister qu'entre + 56°,25 — et 30°, et qui à + 30° produit spontanément des cristaux.

Le phosphate de soude cristallisé fusible dans son eau de cristallisation un peu au-dessus de + 46°, reste en solution sursaturée, s'il refroidit à couvert, jusqu'à + 31°. A cette température, il cristallise spontanément, quoique restant couvert.

Il est facile de constater qu'un très-grand nombre de solutions chaudes saturées cristallisent aussi bien à l'abri qu'au libre contact de l'air. Il est donc démontré par l'expérience que la loi générale c'est la génération spontanée des cristaux dans les solutions chaudes qui refroidissent ; le phénomène de la sursaturation est une exception. Ce n'est donc pas une nouvelle théorie de la cristallisation des solutions qu'il faut chercher, c'est seulement la théorie d'une exception à cette cristallisation ; et si l'on voulait trouver une analogie entre la génération des cristaux et celle des organismes, il faudrait considérer l'hétérogénie comme le fait général et la filiation comme l'exception.

Il est à remarquer que les sels dont les cristaux gardent une grande quantité d'eau de cristallisation sont les seuls qui offrent le phénomène de la sursaturation. Or, des influences très-faibles peuvent modifier leur hydratation et, en même temps, leur forme et leur solubilité. Parmi ces influences, il faut certainement compter l'attraction exercée par les parois des vases.

La solution chaude saturée de sulfate de soude, par exemple, abandonnée en gouttelette sur une lame de verre, se maintient sans cristalliser à l'air libre, à la température de + 18° ; elle s'évapore lentement à cette température, et finit par donner des dodécaèdres tout à fait différents des longs prismes cannelés que donne la même solution cristallisant dans les conditions ordinaires. Les solutions sursaturées d'alun, d'acétate de plomb, de carbonate de soude, de borate de soude et de phosphate de soude, sont également influencées par le contact des parois de verre, sur lesquelles elles sont étendues en couches minces.

La solution sursaturée d'acétate de soude contenant 10 pour 100 d'eau manifeste l'influence des parois de la manière la plus frappante. Elle est déliquescente à l'air libre lorsqu'elle mouille l'ampoule d'un thermomètre sur laquelle elle refroidit, et cette même solution cristallise pourtant lorsqu'elle est exposée à l'air libre en couche épaisse dans une capsule.

L'état hygrométrique de l'air exerce aussi une influence évidente sur le phénomène de la sursaturation. Beaucoup de solutions ne cristallisent jamais dans l'air saturé d'humidité, qui cristallisent, au contraire, fort bien dans l'air sec. Or, une solution qu'on laisse refroidir à couvert reste nécessairement dans un air saturé d'humidité.

Est-ce à dire que l'influence attractive des parois et l'état hygrométrique de l'air confiné rendent compte absolument du phénomène de la sursaturation? Non, sans doute; il y a dans l'air libre, *sub Dio*, un *quid divinum*, c'est-à-dire *ignotum*, qui favorise et suscite la cristallisation comme l'organisation.

La tentative qu'on a faite pour expliquer cette inconnue, quant à la cristallisation par la *pancristallie*, ne me paraît pas heureuse. Quant à la formation des organismes microscopiques, la *panspermie* jouit d'une meilleure fortune. Mais cette fortune sera-t-elle durable? Il est permis d'en douter. Dans tous les cas, la *pancristallie*, dont j'espère avoir démontré l'inanité, ne saurait plus être invoquée pour appuyer la *panspermie*.

Dr J. JEANNEL,

Membre correspondant de l'Association scientifique.

VARIÉTÉS.

Le goût des conférences publiques est bien plus développé parmi les femmes en Angleterre que chez nous ; les soirées de l'*Institution royale* et les autres lectures publiques sont le rendez-vous des dames du plus grand monde qui y étalent leurs toilettes et viennent s'y faire voir comme à Paris aux Italiens ou à l'Opéra. Mais là aussi l'abus des cosmétiques expose à de singulières mésaventures, témoin ce qui est arrivé à une conférence de M. Faraday. Une jeune et jolie dame est devenue tout à coup entièrement bleue sous l'influence des émanations d'un gaz que manipulait le professeur. Cette dame avait mis du rouge, et c'est ce rouge qui s'était changé en bleu aux éclats de rire de toute l'assemblée. L'héroïne de cette aventure prenait pour un témoignage des plus flatteurs l'universalité des regards dirigés sur elle, et elle n'aurait sans doute rien compris à ce qui se passait si une voisine ne lui avait charitablement indiqué le sujet de cette interminable gaieté. Il va sans dire qu'elle se retira toute confuse en cachant dans son mouchoir son visage devenu indigo. On sait que des incidents du même genre se produisaient quelquefois dans nos théâtres avant qu'on eût perfectionné le blanc dont se servent les parfumeurs ; les anciennes préparations étaient susceptibles de se transformer, sous l'influence des émanations du gaz d'éclairage, en un sulfure de plomb parfaitement noir.

— M. Dubois (d'Amiens), secrétaire perpétuel de l'Académie de médecine de Paris, a lu, dans les deux dernières séances de l'Académie, un mémoire fort curieux, qu'il doit terminer mardi prochain, sur Louis et Vicq d'Azyr. M. Dubois raconte d'une manière originale les dissensions qui éclatèrent dans le sein de l'Académie de chirurgie lors de la Révolution française, et qui marquèrent les derniers moments de cette compagnie. Il établit que l'invention de la guillotine, généralement attribuée au docteur Guillotin, appartient en réalité à Louis.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE — NUMÉRO 47 — 20 OCTOBRE 1866

Paris, 19 octobre 1866.

M. Brierre de Boismont a lu à l'Académie des sciences un mémoire intéressant sur la *folie raisonnante*, dans lequel il relate un certain nombre de faits très-curieux.

M. Trécul continue la lecture de ses travaux sur l'anatomie des vaisseaux propres chez les Clusiacés.

M. Babinet expose une théorie de la chaleur fondée sur l'hypothèse de vibrations calorifiques analogues aux vibrations lumineuses. Ces idées avaient déjà été exposées dans un mémoire lu à l'Académie en 1838, et dont les titres de chapitre ont seuls été imprimés; mais M. Babinet croit que, malgré les progrès accomplis par la science, ces idées lui appartiennent encore tout entières. M. Babinet considère la chaleur d'une molécule comme étant sa force vive, c'est-à-dire le produit de sa masse par le carré de sa vitesse. Deux molécules sont en équilibre de température quand elles ont la même force vive; elles échangent alors, à distance ou au contact, des quantités égales de chaleur, et si on les place dans la même enceinte, elles produiront le même rayonnement. Du reste, dans ces communications de mouvement, si l'on admet que l'élasticité est parfaite, la force vive totale doit se conserver intacte, en se partageant, et représente la lumière et la chaleur dont la somme reste ainsi constante. M. Babinet part de là pour expliquer mathématiquement les principales lois relatives à la chaleur.

M. C. Dareste, professeur à la Faculté des sciences de Lille, envoie des recherches sur la dualité primitive de l'aire vasculaire dans l'embryon de la poule. M. Dareste avait eu occasion d'étudier plusieurs monstres possédant deux cœurs, et c'est ce qui l'a conduit à entreprendre ces recherches, une telle anomalie ne pouvant s'expliquer à ses yeux que par la persistance exceptionnelle d'un état primitif qui se modifie d'ordinaire dès les premières périodes de la vie embryonnaire. Le cœur résulte donc de l'union de deux blastèmes distincts, ainsi que M. Serres l'avait déjà soupçonné autrefois.

MM. Letellier et Speneux adressent une note sur la pourriture des fruits, contestant que cette pourriture soit le résultat du développement des moisissures, comme M. Davaine l'a soutenu dans une note présentée il y a quelque temps à l'Académie.

Enfin M. Chevreul lit, au nom de M. Niepce de Saint-Victor, un travail exposant quelques expériences nouvelles qu'il vient d'exécuter relativement à la photographie en couleur et surtout au moyen de reproduire les noirs.

E. A.

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS.

ANATOMIE PATHOLOGIQUE.

COURS DE M. A. LABOULBÈNE.

Leçon d'ouverture.

Messieurs,

La plus grande satisfaction que puisse éprouver un agrégé de la Faculté pendant le temps si court de son exercice, c'est d'être appelé à venir professer devant vous, dans cet amphithéâtre, une des parties de notre science, si belle et si utile. Une telle satisfaction, j'allais dire un tel bonheur, m'arrive pour la seconde fois, et au début de ce cours, je viens vous faire part des sentiments que j'éprouve. Mais tout d'abord, messieurs, et cette pensée est dans votre esprit comme dans le mien, adressons un respectueux souvenir à notre cher maître, le vénérable titulaire de cette chaire. M. le professeur Cruveilhier, vous le savez tous, a inauguré l'enseignement de l'anatomie pathologique dans la Faculté de Paris; ses travaux ont agrandi le domaine de la science et la Société anatomique lui doit sa rénovation; aussi, messieurs, ai-je tenu à placer le difficile enseignement que je suis chargé de vous donner sous l'égide de ce nom respecté et dont l'autorité est si légitime.

Vous êtes venus entendre le cours d'anatomie pathologique, et la majeure partie d'entre vous y assiste probablement pour la première fois. Vous désirez savoir quelle est cette science, comment elle s'est constituée, quel est son objet, son but, son utilité. J'espère qu'en sortant de cette leçon, vous serez fixés sur tous ces points divers, et d'une si grande importance.

Voici la définition que je vous donne : *l'anatomie pathologique est la science qui étudie et fait connaître toutes les lésions matérielles des corps organisés*, ou, en d'autres termes, c'est : *l'anatomie comparée de l'état normal à l'état morbide.*

Le champ d'étude de l'anatomie pathologique est immense; elle s'étend sur tous les corps organisés et suivant une heureuse expression, ce serait une magnifique science, une

Digitized by Google

science de premier ordre, celle qui comprendrait les altérations des végétaux et des animaux, qui montrerait les analogies et les différences des lésions chez des êtres si divers, et qui, s'élevant aux considérations les plus hautes, comparerait les altérations entre elles et avec celles du corps de l'homme. Cette anatomie pathologique, qu'on pourrait appeler transcendante ou philosophique, n'existe encore que par fragments épars.

Vous devez être des médecins, et ce cours comprendra uniquement l'anatomie pathologique humaine ou du corps de l'homme. Cette science limitée est encore bien vaste et peut être définie : *la branche des sciences médicales qui étudie et fait connaître toutes les lésions, ou altérations morbides, du corps humain.*

Il s'en faut de beaucoup, messieurs, que l'anatomie pathologique soit arrivée sans efforts à être solidement établie, et qu'elle soit parvenue rapidement au point de perfection relative où elle se trouve aujourd'hui. Il est du plus grand intérêt que je vous fasse jeter un coup d'œil rapide sur la manière dont s'est fondée l'anatomie morbide et dont elle a progressé.

On peut considérer plusieurs époques dans l'histoire de l'anatomie pathologique, je les réduirai à quatre principales. Je vais, en vous les faisant parcourir, les caractériser avec soin. Les enseignements de l'histoire si recherchés de nos jours se fixeront dans votre souvenir, et vous montreront l'influence heureuse de l'anatomie pathologique sur l'ensemble des connaissances médicales.

Dans la première période ou époque ancienne, nous trouvons peu de chose, et même suivant la plupart des auteurs, nous ne devons rien trouver. Ceux-ci voulant rompre avec le culte servile de l'antiquité, et s'efforçant de réagir contre les prétentions de reconnaître dans les écrits anciens la plupart des découvertes modernes, déclarent que les livres hippocratiques ne renferment rien sur l'anatomie pathologique. Ils soutiennent que ni Hérophile, ni Érasistrate, ni Galien, ne sont les fondateurs de la science qui nous occupe. Le vieillard de Cos n'a jamais disséqué de corps humain et le médecin de Pergame n'eut d'autres connaissances anatomiques que celles fournies par l'ouverture de singes anthropomorphes.

Ces assertions sont vraies, messieurs, et l'on ne peut les nier. Tous les aperçus, toutes les remarques parfois d'une perspicacité surprenante qui se trouvent dans la collection galénique, ne s'appuient pas sur les dissections cadavériques ; mais à mon avis, et je tiens à vous le dire dès à présent, on a été trop loin en prétendant que l'antiquité n'avait pas connu et n'avait pas utilisé l'anatomie pathologique. A notre manière, soit, mais est-ce que les médecins des premiers âges n'observaient pas les désordres des organes externes, les rougeurs et les colorations anormales des téguments, des muqueuses accessibles à la vue, les déjections, les liquides vomis? Ils ne faisaient point l'anatomie pathologique du cadavre, mais ils étudiaient l'anatomie pathologique sur le vivant, en un mot, la physiologie pathologique. Leurs œuvres nous prouvent quelle sagacité ils apportaient pour constater les phénomènes morbides, pour juger l'état du dedans par le dehors. On a été injuste envers l'antiquité en lui déniant toute aptitude à l'anatomie et à la physiologie pathologiques si étroitement unies. On s'est trop appuyé sur les préjugés de cette époque reculée qui faisaient regarder comme une profanation, punie de peines, l'ouverture ou l'inspection anatomique des corps morts. Vous savez que d'après les croyances religieuses des anciens, l'esprit des malheureux privés de sépulture errait sur les bords du Styx ; aussi les parents ou les amis du malade s'empressaient-ils, dès qu'il était mort, de brûler son corps ou de le déposer intact dans un monument funéraire.

L'Égypte, qui a été un foyer de civilisation si puissant, nous a offert une remarquable exception dans l'antiquité. Ce ne sont point les Pharaons qui l'ont présentée ; s'ils ont assisté à des ouvertures de corps, c'était pour mettre en honneur l'embaumement et la conservation des cadavres que les mesures d'hygiène leur imposaient comme loi de prudence ; s'ils ont réellement fait ouvrir des morts, c'était sans profit médical pour les vivants.

Il n'en est point de même des Ptolémées. Ces princes ordonnèrent l'ouverture des cadavres dans un but utile, pour rechercher à la fois le mécanisme de la vie et les ravages de la mort. Leur impulsion fonda l'école célèbre d'Alexandrie, et si les œuvres d'Hérophile ne nous sont point parvenues, la perte en est fort regrettable, car tous les auteurs qui ont parlé de ses œuvres l'ont fait avec admiration.

Le caractère prédominant de la période ancienne est de ne pouvoir être comptée comme nulle, mais de n'avoir pas fourni des matériaux à l'édifice scientifique.

La deuxième période ou époque de fondation nous conduira jusqu'au *Sepulchretum* de Bonet. Les médecins arabes, gardiens fidèles, mais trop fidèles, de l'antiquité, ne nous avaient rien appris de nouveau, et jusqu'à la fin du moyen âge, la science fut couverte de ténèbres. C'est en Italie que nous voyons apparaître l'anatomie pathologique. On a dit que Montagnana (de Padoue), aïeul d'une série de médecins qui s'est continuée pendant deux siècles, avait été le créateur de cette science. Cela me paraît très-contestable ; il est vrai qu'il avait disséqué quatorze cadavres, mais il les avait employés à des études d'anatomie normale.

Vers la fin du xve siècle, Antoine Benevieni (de Florence), appuya ses observations médicales par l'ouverture des corps ; il publia cent dix-sept observations, il donna les caractères des calculs biliaires, des concrétions sanguines du cœur, des indurations de l'estomac et du mésentère. Benevieni a donc été, au moment de la renaissance des sciences, le promoteur de l'anatomie pathologique.

Je viens de parler des concrétions sanguines du cœur, et je ne puis, messieurs, m'empêcher de vous faire remarquer, au début de l'anatomie pathologique, ces productions morbides qui, de nos jours, attirent l'attention à un si haut degré depuis les travaux du professeur Virchow, et sur lesquelles une bonne thèse a été faite dans l'avant-dernier concours pour l'agrégation en médecine.

Benedetti, peu après Benevieni, ouvrit des cadavres à Candie, en Grèce, et près des lieux mêmes où s'était établie la médecine hippocratique.

Vésale, Fallope, Eustachi, ces fondateurs de l'anatomie normale, ne négligent pas l'anatomie morbide. Vésale surtout avait préparé de longue main un volumineux recueil de ses observations cadavériques. Ce recueil fut perdu. Schenck avait pensé qu'il était en Espagne, mais malgré les recherches les plus actives faites pendant le séjour de nos armées dans la Péninsule, il ne put être retrouvé.

Wolcher Coiter (de Gröningue), est mort victime de son zèle pour l'anatomie pathologique ; il périt dans une expédition qu'il avait suivie comme chirurgien d'armée, dans le but de s'instruire par des ouvertures cadavériques. Dodoens

Digitized by Google

a signalé les altérations morbides des pneumonies épidémiques ; la suppuration du poumon qu'il décrivait répond à notre hépatisation grise.

Je dois vous parler aussi dans cet historique abrégé, d'Harvey que la mort empêcha de réaliser le projet d'un traité d'anatomie pathologique et de Bartholin qui avait consacré vingt années à recueillir des matériaux sur le même sujet. Ce grand travail disparut dans l'incendie de la maison de Bartholin. Vous voyez de bien grandes pertes faites dès les premiers temps pour notre science : les œuvres d'Hérophile, les manuscrits de Vésale et de Bartholin.

Je dois passer sous silence et Félix Plater et Jean Schenck, et une grande quantité de noms d'auteurs. Vous les trouverez dans les œuvres de Lobstein et de Sprengel, dans le *Sommaire d'une histoire abrégée de l'anatomie pathologique*, de M. Rayer, et dans les deux articles recommandables sur l'*Anatomie pathologique* qui viennent de paraître, l'un dans le quatrième volume du *Dictionnaire encyclopédique des sciences médicales*, par M. Barth, l'autre dans le tome deuxième du *Nouveau dictionnaire de médecine et de chirurgie pratiques*, par M. Boeckel. J'aime mieux actuellement vous faire apprécier le caractère de cette deuxième période, que vous surcharger la mémoire de noms propres, souvent difficiles à retenir et dont la monotone répétition vous lasserait.

Jusqu'à Théophile Bonet (de Genève), avec lequel finit la deuxième époque, et dont le *Sepulchretum anatomicum* parait en 1679, nous voyons les auteurs qui s'occupent d'anatomie pathologique noter les faits rares et extraordinaires. Les esprits sagaces et bien trempés se contentent d'agir ainsi, mais les auteurs de moindre mérite, enclins au merveilleux, voient les choses autres qu'elles ne sont, y ajoutent des fables souvent ridicules. Quoi qu'il en soit, les collections de faits par centuries ou par décades, les observations merveilleuses dominent et le *Sepulchretum* lui-même, œuvre remarquable et monumentale, n'est pas à l'abri de ce reproche, car à côté des matériaux les plus précieux déjà rassemblés par Schenck, il renferme un grand nombre de faits apocryphes et d'observations douteuses.

La troisième période, ou époque de progrès, nous conduit jusqu'à l'ouvrage capital de Morgagni. Disons nettement que le *Sepulchretum* ne fut suivi que de travaux bien moins considérables et que, si l'anatomie normale fit de grands progrès avec Peyer, Ruysch, Vieussens, etc. ; l'anatomie pathologique ne suivait que de loin. L'amour du merveilleux faussait l'observation, on voyait encore dans les altérations du corps, dans les vices de conformation, soit le mauvais vouloir de l'esprit du mal, soit des miracles. Je dois vous faire remarquer cependant Harder qui, à l'exemple de Thomas Bartholin et de Bonet, appelle l'anatomie pathologique *Anatomia practica*, à cause de sa grande utilité, et Ruysch qui est le fondateur de l'iconographie anatomique et qui représente les altérations du corps humain. Mais j'ai hâte d'arriver à Morgagni (de Forli, ville de la Romagne), dont l'œuvre fait époque.

Il y a une si grande différence entre Théophile Bonet et Morgagni, qu'on croirait à peine qu'un siècle de distance les sépare. Morgagni a posé les bases de l'anatomie pathologique scientifique, et là est l'immense progrès qu'il a accompli.

Peu d'hommes, dit M. Lebert, dont je me plais à citer ici le nom, offrent une aussi belle carrière scientifique que Morgagni. Travaillant jusqu'à faire craindre pour sa vue, il excite l'admiration des savants qu'il a pour maîtres, et quels maîtres ! Malpighi, Albertini, Valsalva. Docteur en médecine et en philosophie à dix-neuf ans, il devient prosecteur de Valsalva, et le remplace dans sa chaire de Bologne pendant un voyage. En 1706, il publie ses *Adversaria anatomica* qui le placent au premier rang des anatomistes. Loin de se reposer alors, il travaille sans cesse, suivant une direction invariable : l'anatomie comparée et la pratique médicale. Devenu professeur à Padoue, il amasse d'immenses matériaux, et il ne les publie que lorsqu'il est presque octogénaire.

Le grand ouvrage de Morgagni, *De sedibus et causis morborum per anatomen indagatis*, est basé sur l'ouverture de six cents cadavres, nombre toujours considérable, mais énorme pour le temps où vivait l'infatigable anatomo-pathologiste ; aussi tout pâlit devant ses propres recherches. Pour la première fois, la science a pour interprète un anatomiste sévère qui rejette le merveilleux, qui dit simplement, et avec une exactitude inconnue jusqu'à lui, ce qu'il a appris de source certaine.

Les attaques passionnées, les critiques ardentes, n'ont pas été épargnées à Morgagni; c'est le sort des arbres chargés de fruits de recevoir le plus de pierres. On lui a reproché sa prolixité, mais ne fallait-il pas revenir sur le même sujet à plusieurs reprises pour le faire comprendre sûrement, et dans un autre genre de recherches, ne voyez-vous pas Réaumur s'efforcer à force de redites enthousiastes, de développer le goût de l'observation pour les merveilles de la nature ?

Morgagni, a-t-on dit, n'avait pas de plan théorique. Cela est vrai, mais jusqu'à un certain point. Du reste, messieurs, si j'ai bien compris cette grande figure historique, l'octogénaire qui écrivit le *Sedibus et causis* était un vieillard désabusé des théories qui jonchaient déjà le sol. Anatomiste grave, il présenta un tableau exact et dépourvu de couleurs mensongères, il rejeta sans pitié des hypothèses prématurées ; il eut la gloire d'établir les assises inébranlables d'un monument auquel l'avenir ajouta des sculptures, mais rien de plus. M. Cruveilhier appelle Morgagni : le Haller de l'anatomie pathologique.

La quatrième période ou époque moderne commence après Morgagni et s'étend jusqu'à nos jours. L'impulsion si vivement donnée aux recherches d'anatomie pathologique ne s'est pas ralentie ; les travaux les plus importants se sont accumulés dans les collections, les mémoires et sous forme de *Thesaurus*. On a surtout rassemblé les faits analogues, puis on les a comparés, on a rapproché les lésions et les symptômes ; on a de la sorte animé l'anatomie morbide et la physiologie pathologique en est devenue la compagne inséparable. Les altérations du corps humain ont été dessinées avec soin, reproduites par le moulage et les musées d'anatomie pathologique ont été fondés. Qu'il y a loin, messieurs, de ces collections si précieuses, du musée de Hunter et du musée Dupuytren, aux premiers ex-voto des temples de la Grèce où étaient représentés grossièrement et avec plus de fantaisie que de vérité, les seules lésions externes. Il y a la différence des premières lignes d'une ébauche naïve aux peintures murales des grandes époques de l'art.

L'anatomie pathologique avait paru et avait grandi en Italie, son étude prospéra, puis s'étendit vers le Nord. Hoffman d'Altdorf avait écrit le premier traité d'anatomie morbide. J'aurais à vous signaler bien des autorités et des plus recom-

Digitized by Google

mandables parmi ceux qui ont cultivé tour à tour cette science utile : en Hollande et en Allemagne, Boerhaave, Jean Frédéric Meckel, Camper, Sandifort et Sœmmerring. Stoll et de Haen dans cette école de Vienne où ils sont si dignement suivis par le professeur Rokitansky ; en Angleterre, William Hunter et Matthews Baillie, dont l'ouvrage a été plusieurs fois traduit. La France qui n'était point à la tête du progrès en anatomie pathologique, lui imprima à son tour un élan irrésistible. Desault fonda à notre Hôtel-Dieu le premier cours de clinique en s'appuyant sur l'anatomie morbide, il ravit et persuada son auditoire par la sûreté de son diagnostic, par la sagesse de son traitement. Desault avait, parmi ses auditeurs les plus assidus, distingué Bichat. Vous savez, messieurs, ce que devint cet élève favori qui, remarquant la même lésion sur des tissus éloignés, les regarde comme appartenant au même système et crée l'anatomie générale d'après les données de l'anatomie pathologique.

Avec Bichat s'élève une brillante pléiade : Bayle, Laennec, Corvisart, Portal, Dupuytren. Mais ici, messieurs, je dois m'arrêter, car j'aurais à vous parler de vos maîtres et des miens. Vous comprendrez les motifs de haute convenance qui ne me permettent pas, en ce moment, de discuter leurs travaux. Plus tard, je vous les indiquerai soigneusement comme les meilleures sources où vous puissiez retremper et compléter votre instruction.

Après cette revue historique, abrégée à dessein, l'esprit éprouve le besoin de se reposer, et je vais vous montrer, messieurs, les rapports de l'anatomie pathologique avec les autres branches des sciences médicales. Vous verrez combien l'anatomie morbide est étroitement unie à l'anatomie et à la physiologie normales, à la médecine tout entière, et quelle importance majeure elle doit avoir dans vos études.

L'anatomie pathologique a des connexions de tous les instants avec l'anatomie normale. La définition que je vous ai donnée vous montre que l'étude comparée de l'état normal et de l'état morbide constitue, en définitive, la science qui nous occupe. Pour bien connaître deux objets, il faut les comparer et d'autant plus et d'autant mieux qu'ils ont plus de ressemblance.

Si l'étude approfondie de l'anatomie normale doit précéder celle de l'anatomie pathologique, celle-ci vient à son tour nous donner les plus précieux renseignements sur l'état des organes à l'état d'intégrité. Je pourrais vous citer de nombreux exemples de solutions heureuses fournies par l'anatomie morbide sur la structure et la texture des organes délicats ou complexes. Des éléments dont l'existence était soupçonnée, plutôt que prouvée, deviennent très-apparents et forment tumeur dans l'état de maladie ; les fibres hypertrophiés des conduits et des réservoirs sont très-appréciables quand un obstacle au cours des liquides sécrétés produit leur hypergenèse. Les anatomistes ont discuté autrefois sur les communications des ventricules cérébraux, les épanchements sanguins dans l'encéphale établissent la réalité de ces communications. L'anatomie morbide a prouvé sans réplique l'impossibilité de l'absence normale du péricarde, due à l'adhérence de cette séreuse ; elle a montré que les ligaments pulmonaires de Vésale n'étaient que des néomembranes de la plèvre, et que les prétendus vaisseaux pulmonaires expectorés, ou bien que les polypes charnus du poumon, étaient composés de sang coagulé et constituaient, non des productions normales rejetées au dehors, mais bien des concrétions hémoplastiques.

Rappelez-vous que c'est l'anatomie pathologique qui stimule vos études réitérées d'anatomie normale et surtout d'anatomie topographique ou chirurgicale, sur ces régions du corps appelées *difficiles* en terme d'amphithéâtre. Telles sont les régions axillaire, poplitée et crurale, où siégent des tumeurs de diverse nature, tumeurs qui se forment aux dépens d'organes différents.

Je vous ai déjà dit comment l'anatomie pathologique avait aidé Bichat dans les recherches d'anatomie générale. Toutes les fois qu'un tissu membraneux embarrasse le grand anatomiste, il appelle à son aide l'anatomie morbide, et il établit la nature du tissu (ou de l'élément comme il disait alors) d'après la réaction morbide de celui-ci, d'après son anatomie et sa physiologie pathologiques.

Je n'ai pas besoin d'insister sur les rapports étroits de l'anatomie générale et de l'anatomie pathologique, mon savant maître, M. le professeur Ch. Robin, vous les a soigneusement exposés ; mais je tiens à vous faire remarquer l'appui que cette dernière science prête à la physiologie. Peut-être ne vous frappe-t-il pas tout d'abord, il est pourtant très-réel et très-efficace.

La physiologie arrive directement à connaître le jeu des organes externes et des fonctions principales ; de plus la simplification des organes et des tissus des animaux, depuis l'homme jusqu'à l'infusoire, lui fait apprécier le rôle exact et défini des éléments et les propriétés qu'ils manifestent. Enfin les expériences sur les animaux vivants sont des plus utiles, ainsi que nous l'a prouvé une discussion célèbre de l'Académie de médecine sur ce sujet. Nous recueillerons tout ce que nous ont appris les vivisecteurs depuis les premiers qui ont expérimenté jusqu'à MM. les professeurs Longet et Claude Bernard, et ce sera de la vraie science, nettement établie ; mais, messieurs, les expériences les mieux faites, les plus habilement instituées et conduites, amènent des mutilations inévitables, qui entravent trop souvent la médecine expérimentale. Ceci est vrai, surtout pour les recherches dans la profondeur des organes splanchniques ; l'instrument investigateur produit de graves désordres et, dans certains cas, il faut renoncer à interroger la nature à l'aide des vivisections, l'animal succombe ou il est en proie à de telles commotions que les résultats sont faussés ou douteux. Eh bien, messieurs, ce que les vivisections ne peuvent établir, c'est l'anatomie pathologique qui nous le montre, c'est elle qui fera cesser l'incertitude et qui fournira la preuve, en révélant les rapports des divers éléments organiques, et en montrant jusqu'où peut aller l'altération sans que l'usage de l'organe soit aboli, sans que la fonction ait cessé, sans que la vie s'éteigne.

Je ne puis résister à vous citer l'exemple de mon ami M. Brown-Séquard, qui a si patiemment étudié les fonctions de la moelle épinière. Après avoir fait des sections totales, des demi-sections, des lacérations, des enlèvements partiels ou généraux de la moelle rachidienne, l'habile physiologiste a constaté sur les animaux mutilés des résultats précieux, mais ne répondant pas toujours d'une manière univoque à ses investigations. Il a cherché un complément de preuves en recueillant tous les faits, soit de fractures du rachis avec plaie ou compression de la moelle épinière, soit d'hémorrhagie, de cancer, de tubercule causant une destruction limitée de l'organe si délicat qu'il étudiait, et l'anatomie pathologique

Digitized by Google

lui a fourni pour les faits obscurs de ses expériences le *criterium* absolu.

Je vous signalerai encore les faits d'anatomie pathologique concordant avec les processus morbides rétrogrades observés par M. le docteur Bert, dans ses greffes animales sous-cutanées; le mode de destruction des éléments anatomiques, fibres musculaires, tubes nerveux, etc., est identique dans les observations d'anatomie morbide et de physiologie expérimentale.

Vous voyez donc en définitive l'anatomie morbide et la physiologie étroitement unies entre elles, et cela doit être, car l'anatomie pathologique en action n'est autre que la physiologie pathologique. Or, ces deux sciences ou plutôt ces deux manières d'étudier les altérations et les lésions organiques sont tellement solidaires, qu'on les peut considérer comme les doigts de la même main, comme les membres du même corps.

La chirurgie doit ses progrès si rapides et si remarquables à l'anatomie pathologique; grâce à cette dernière, elle a pu échapper, en partie, aux systèmes qui ont encombré l'arène médicale. Aussi la chirurgie faisant pour ainsi dire l'anatomie pathologique sur le vivant est-elle des plus sûres, et le but avoué des recherches modernes est-il de voir et de toucher les lésions d'organes les plus inaccessibles en apparence. Quelle lumière nouvelle apportée au diagnostic des maladies de l'œil et du larynx, par l'ophthalmoscope et le laryngoscope?

La médecine, vous affirme M. le professeur Cruveilhier, puise dans l'anatomie pathologique une grande partie de sa certitude. Et, en effet, les maladies internes ne se montrent que par des symptômes qui ne sont autre chose que l'expression de souffrance des organes. Mais un organe qui souffre est un centre d'où partent des irradiations morbides, et qui éveillent des sympathies et des synergies. Aussi, messieurs, et je vous cite encore la parole du maître, les symptômes seuls ne pourront vous guider sûrement pour un diagnostic positif et un traitement rationnel; l'étude des lésions que les maladies laissent après la mort doit être associée à l'étude clinique, marcher toujours avec elle, à moins de succomber à un aveugle empirisme.

Cela est si vrai, messieurs, que si vous enfermant dans une salle d'hôpital pour voir et pour soigner des malades, occupant vos loisirs à lire des ouvrages anciens et modernes, vous vouliez apprendre ainsi la médecine, vous feriez fausse route. Vous arriveriez après quelques années à porter un pronostic heureux ou malheureux, comme un infirmier ou une sœur hospitalière, mais jamais un diagnostic ferme et sûr. Vous auriez vu beaucoup de malades et peu de maladies, vous n'auriez aucun point de ralliement, et vous trouveriez partout des doutes ou des erreurs. Mais si vous assistez aux autopsies, si vous écoutez les professeurs de clinique ou les médecins des hôpitaux rapprocher les symptômes des lésions, et vous expliquer cette physiologie pathologique que vous voyiez sans la comprendre, dès lors tout s'éclaire; ces désordres confus, ces symptômes inextricables, vous sont dévoilés dans leur succession et leur dépendance. Des vomissements répétés indiquaient une maladie du cerveau et non de l'estomac, et le croup bronchique, et l'ulcère simple de l'estomac, et la fracture de la base du crâne, et l'invagination intestinale, ne sont plus pour vous lettre close.

Pourquoi l'auscultation et la percussion, ces deux admirables moyens d'investigation clinique, ont-ils fait avancer si heureusement le diagnostic et le traitement des maladies des viscères splanchniques? C'est parce qu'ils nous font apprécier l'état des organes internes de la poitrine et de l'abdomen, et qu'ils ont permis de faire sur l'homme vivant l'anatomie pathologique de ces organes.

La médecine légale est établie en grande partie sur la science de l'anatomie morbide. Le médecin légiste revêtu d'une si haute responsabilité doit connaître tous les phénomènes de la putréfaction dans les différents milieux et toutes les lésions du corps humain; car il faut qu'il sache si ces dernières ont été produites pendant la vie ou après la mort, et dans un but coupable pour égarer la justice en voilant un crime. Un homme trouvé pendu s'est-il suicidé ou a-t-il été étranglé d'abord, et puis pendu ensuite? Un homme noyé a-t-il été jeté vivant dans l'eau ou après un meurtre et pour faire croire à un accident? Dans les cas douteux, les réactions de physiologie pathologique qui suivent la pendaison ou l'asphyxie par submersion, leurs désordres caractéristiques, guideront le médecin légiste. De même dans les questions de coups et blessures, les lésions anatomiques et la connaissance approfondie de leur siége serviront de base à l'expert. Les décisions du médecin, quand il est appelé à éclairer la justice, sont bien graves et bien délicates, mais rappelez-vous ces débats célèbres dont l'écho est à peine affaibli, où la science de l'expert appuyée sur des données irrécusables est venue, en quelque sorte, dicter le jugement. L'anatomie pathologique appliquée à la médecine légale porte en Allemagne le nom significatif et mérité d'*anatomia forensis*.

J'ai hâte de quitter ce sujet, et cependant j'aurais encore à vous signaler les rapports de l'anatomie morbide avec la science des accouchements. Examinez les pièces du musée Dupuytren que je vous présente et réfléchissez à l'importance de la viciation des détroits du bassin pour établir votre conduite auprès de la femme en travail. Quant à la chimie, qui analyse si heureusement les liquides et les principes immédiats, il me suffit de vous rappeler les beaux travaux de MM. Andral et Gavarret sur l'hématologie pathologique, ceux de Becquerel sur les altérations de la sécrétion urinaire, de Simon, de Lehmann, de MM. Robin et Verdeil, etc.

Après ces considérations où je vous ai montré constamment l'anatomie pathologique unie, et d'une manière si intime, aux autres sciences médicales, vous trouverez que son utilité est démontrée par son importance. Peut être étonnerai-je plusieurs d'entre vous en leur apprenant que l'anatomie pathologique a eu cependant de nombreux détracteurs et des adversaires passionnés. On l'a accusée de nuire aux progrès de la médecine. Jamais reproche ne fut plus immérité, et comme je n'ai point l'habitude d'éluder ou de tourner les difficultés, je vais aborder celle-ci de front.

Je ne parlerai que pour mémoire de ces esprits superbes, heureusement de jour en jour plus rares, que la réalité importune et qui ne veulent voir dans la médecine qu'une science à priori, regardant comme superflu tout ce qui ne rentre pas dans les thèmes à amplifications, tracés à l'avance par leur imagination complaisante. Il n'y a qu'une réponse à faire: on regarde comme inutile ou nuisible ce que l'on ne sait pas et ce qui donnerait trop de mal à apprendre. Je passe à des objections plus spécieuses, sinon plus sérieuses.

Ces objections ont été adressées à l'anatomie morbide, suivant la remarque de M. Cruveilhier, au sujet de la théra-

Digitized by Google

peutique. Elles sont bien anciennes puisque Zimmermann les fait remonter à Philinus de Cos, qui reprochait aux disciples d'Hérophile leurs connaissances anatomiques, en prétendant que cela les empêchait d'être de bons médecins. Si ce reproche de Philinus vous fait sourire parce qu'en vérité il était jaloux de peu de chose, les objections suivantes vous frapperont davantage. Est-ce dans la contemplation des lésions de la rage ou du choléra, a-t-on dit, que vous arriverez à découvrir le spécifique de ces horribles maladies? — Que vous apprendront les analyses cadavériques après les accès de fièvre pernicieuse! Vous fourniront-elles jamais l'idée du quinquina? — Est-ce en soumettant le liquide de la pustule variolique à tous les réactifs de vos laboratoires ou en l'examinant sous la lentille de vos microscopes que vous auriez trouvé le cowpox?

Vous voyez, messieurs, que je ne dissimule pas les objections, j'ajouterai encore les reproches de renverser les doctrines anciennes, d'amoindrir la science, de ne voir partout que lésions et que matière, de ne pas tenir assez compte des vues larges, du τὸ θεῖον du *quid divinum*, des constitutions médicales, que sais-je? Enfin on a couronné la réprobation en disant, — ceci est le trait du Parthe, — que l'anatomie pathologique avait fait rétrograder la médecine.

Messieurs, je crois être bien impartial, et je ne crée pas à plaisir ces objections, elles ont été faites par des hommes d'un talent réel, d'un mérite incontestable, mais qui n'envisageaient qu'un côté de la question.

Et ceci me remet en mémoire l'idée suivante d'un profond penseur, idée qu'il exprime à peu près en ces termes: La vérité, dit-il, me fait l'effet d'un poteau indicateur des routes placé au milieu du carrefour d'une vaste forêt. Pour les hommes superficiels et qui n'ont point à s'en servir, ce poteau est un ornement; pour ceux qui savent tout à priori et qui ont la science infuse, ce poteau est un embarras. Mais si vous demandez ce qu'indique le poteau au voyageur auquel il a été utile, il vous dira qu'il dirige vers le nord, car souvent allant dans cette région, il l'a consulté et il ne s'est jamais trompé. Puis un autre vous soutiendra que le poteau dirige sûrement vers le midi, car nombre de fois, il a pu, grâce à lui, trouver sa route et cela sans peine, sans erreur. Et tel survenant vous dira avec conviction qu'il montre l'orient, un dernier enfin l'occident. Tous vous affirmeront le fait, car ils ont de leurs yeux vu l'indication du poteau. Mais ces gens-là connaissent-ils la vérité tout entière, c'est-à-dire ce qu'indique le poteau? Non, ajoute le penseur, car peu d'hommes savent ou peuvent faire le tour du poteau de la vérité.

Nous éviterons ce juste reproche et nous essayerons, messieurs, de faire le tour du poteau; pour cela nous allons envisager l'anatomie pathologique sous toutes ses faces.

Quelle est la première pensée qui vous viendra à l'esprit en présence des malades; ce sera celle-ci: où est le mal? Et dans les maladies locales ou avec une localisation déterminée, vous arriverez vite au siége anatomique. Or, messieurs, quelques années de recherches cliniques sur le siége organique des maladies ont plus fait pour l'avancement de la médecine que des siècles de spéculations établies sur le *strictum* et le *laxum*. Aussi toutes les fois qu'il y a une maladie locale, ou bien une maladie organique, l'anatomie pathologique est indispensable, non pas seulement utile, mais fondamentale; sans elle point de diagnostic possible, sans elle tout est vague et le plus souvent erreur dans le jugement à porter et le traitement à établir.

A part quelques contradicteurs qui, bien à tort, se disent hippocratistes, sans réfléchir que le sage médecin grec résumait toutes les connaissances de son temps, l'accord est unanime sur le rôle capital de l'anatomie pathologique dans les maladies organiques. Mais on objecte que dans les maladies générales, il n'en est plus ainsi, et alors à quoi bon l'anatomie morbide?

A quoi bon? Au diagnostic comme toujours; mais l'anatomie et la physiologie pathologique marchant de front dans vos études, avec ce fait qu'un malade a la rate volumineuse et un accès fébrile, vous penserez à la fièvre intermittente. Est-ce que les taches, les pustules, les saillies crustacées du derme dans la syphilis ne vous éclairent pas sur le diagnostic de cette affection? et la confluence ou la disposition éparse d'une éruption de variole ne vous guideront-elles pas dans le diagnostic, le pronostic et le traitement?

En vérité, ou bien vous voudriez toujours des lésions grosses comme des têtes d'adulte pour vous convaincre de l'utilité de l'anatomie morbide, ou bien vous voudriez ne considérer comme telles que les lésions du cadavre! Mais toutes les lésions et surtout les lésions appréciables sur le vivant sont du ressort de l'anatomie pathologique. C'est l'anatomie morbide animée, c'est la physiologie pathologique. Voilà ce que les détracteurs ou ne savaient pas, ou mieux feignaient d'ignorer. J'ai vu quelquefois des médecins ultra-vitalistes rencontrer dans une salle d'hôpital, et par mégarde, une lésion cachée; je les ai, avec étonnement, vu s'en emparer et s'y appuyer comme sur une base inébranlable; parfois même y attacher trop d'importance au point de vue de l'évolution physiologique de la lésion. Vous observerez probablement ces mêmes choses et vous tirerez vous-mêmes la conclusion.

Je vous ai prouvé, je l'espère, l'utilité incontestable de l'anatomie pathologique, et montré que les principales accusations accumulées contre elle portent à faux. Je pourrais encore vous faire voir que, sans elle, vous n'auriez jamais une idée nette du siége organique, de la nature organique, des effets et des causes organiques des maladies. Mais je n'oublie pas que d'autres questions doivent vous être présentées, et qu'il nous faut faire le tour du poteau.

Limitons, par conséquent, le domaine de l'anatomie morbide. Tantôt la lésion est bien sûrement l'origine, ou en d'autres termes, la cause organique de l'état anormal que traduit la physiologie pathologique observée, si bien qu'expérimentalement nous produisons les mêmes effets, si bien qu'en supprimant cette cause on enlèverait le désordre qui l'accompagnait. Je vous citerai comme exemples: le caillot cérébral de l'hémiplégie, la bride celluleuse qui étrangle l'intestin grêle, la tumeur qui gêne le jeu des parties voisines, qui empêche le passage de l'air dans la trachée ou les bronches; ou bien le rapport anormal de deux surfaces articulaires, le calcul biliaire qui distend le canal cholédoque, etc., etc.

Mais à côté de ces causes organiques si faciles à voir, si nettes dans leur action, nous trouvons que la lésion et la maladie n'ont pas un rapport de causalité évident, dans un grand nombre d'affections, dans l'érysipèle, dans la fièvre typhoïde, etc. La lésion organique cutanée ou intestinale n'est pas la cause de la maladie au même titre que l'épanchement cérébral de l'hémiplégie ou la bride celluleuse dans le cas d'étranglement interne, ou le déplacement des surfaces arti-

Digitized by Google

culaires dans une luxation, ou la solution de continuité des os dans une fracture.

Dans l'érysipèle, c'est la fièvre qui précède et non l'érysipèle qui apparaît avant la fièvre : il est donc indispensable de distinguer les lésions qui sont la cause des désordres des lésions qui sont des effets dans les maladies. Je ne puis entrer ici dans des discussions et des distinctions qui appartiennent à la pathologie générale, mais je dois vous faire remarquer ce fait important que, dans les maladies fébriles, les lésions organiques ne sont que les effets d'une cause générale primitive, qui agit sur l'ensemble de l'économie. L'anatomie morbide, loin de nier ces vérités, a jeté sur elles la plus vive lumière, car ce que je vous disais pour l'érysipèle si facile à voir, est vrai pour la variole, pour la diphthérie, etc. L'anatomie pathologique n'est point toute la médecine, elle y tient une large et belle place, mais elle ne peut vous dispenser d'étudier la pathologie générale et la pathologie spéciale.

Je tiens aussi à vous faire comprendre ce qu'on entend par le *caractère anatomique* ou la lésion caractéristique d'une maladie. Il y a des lésions que l'on rencontre toujours à la suite d'une maladie déterminée, à tel point qu'on a pu, en nosologie, désigner la maladie d'après la lésion ; mais il y a d'autres altérations qui peuvent manquer ou n'être constatées que d'une manière accidentelle. Pour les lésions constantes, liées à une physiologie pathologique ou à une évolution de symptômes toujours identiques, il y a entre elles et la maladie un rapport nécessaire, une coexistence et non une coïncidence. C'est là ce qui établit qu'une lésion organique fait partie de la maladie et qu'elle en est le caractère anatomique ou, en d'autres termes, le signe anatomique et pathognomonique.

Un dernier point très-délicat des études anatomo-pathologiques est le suivant : la lésion matérielle suffit et au delà dans beaucoup de maladies chroniques, pour rendre compte des phénomènes observés pendant la vie et pour expliquer la mort. Parfois même on est surpris que le malade ait pu résister à des altérations de tissus et d'organes portées à l'extrême. Mais, au contraire, dans les maladies aiguës et très-aiguës on ne trouve quelquefois à l'autopsie que des lésions très-légères, ou à peine appréciables. Dans ces cas, les lésions ne dévoilent point encore ni la physiologie pathologique, ni la mort. Les lésions peuvent donc être tantôt *suffisantes* pour expliquer la physiologie pathologique, tantôt *insuffisantes* ; mais réfléchissez que les maladies *sine materia* deviennent de jour en jour plus rares. Rappelez-vous que l'ataxie locomotrice déclarée sans lésions, s'accompagne presque toujours dans les observations précises d'une sclérose avec destruction des racines et des faisceaux postérieurs de la moelle épinière, et concluez avec justesse que la plupart des maladies sans lésion suffisante, doivent rester à l'étude, que la lésion matérielle n'est point toujours toute la maladie, et enfin que l'anatomie pathologique n'est point non plus toute la médecine.

La science de l'organisation morbide ou l'anatomie pathologique peut être étudiée sous deux points de vue principaux, à un point de vue général (anatomie pathologique générale), à un point de vue spécial ou d'application aux organes en particulier (anatomie pathologique spéciale ou appliquée). De là deux divisions principales dans l'anatomie pathologique.

L'anatomie pathologique générale observe les lésions morbides d'une manière abstraite et indépendamment des maladies où on les rencontre, suivant les tissus qui en sont le siége ; elle recherche les analogies ; elle compare entre elles les espèces morbides. L'anatomie pathologique spéciale ou appliquée rattache plus directement à la pratique les données de l'anatomie pathologique générale. Elle suit les organes des divers appareils, elle les envisage dans toutes les altérations morbides dont ils sont susceptibles, depuis l'époque de leur apparition ; elle s'efforce d'établir leurs rapports avec les maladies proprement dites, en un mot, elle aide à leur physiologie pathologique : l'anatomie pathologique se fait donc ainsi à l'amphithéâtre et au lit du malade.

Dans le cours que j'ai fait, il y a deux ans, j'ai traité de l'anatomie pathologique appliquée ; cette année, en suivant la classification de M. le professeur Cruveilhier je traiterai de l'anatomie pathologique générale, et je commencerai par les lésions les plus vitales de l'anatomie morbide, par les lésions inflammatoires, tuberculeuses et cancéreuses, se rapportant à ces trois grands faits morbides, l'*inflammation*, la *tuberculisation* et la *cancérisation*. Puis j'étudierai les plus importants des viscères au point de vue de l'anatomie pathologique spéciale. Du reste, dans la prochaine leçon je vous exposerai les diverses classifications d'anatomie pathologique et le plan détaillé de ce cours.

Pour étudier avec fruit l'anatomie pathologique il vous faut, messieurs, reléguer au loin les idées à priori, les systèmes quelque séduisants qu'ils soient. Attachez-vous à la recherche de ce qui est, de ce que vous constaterez parfois péniblement et en y passant de longues heures. L'atmosphère des amphithéâtres et des salles d'hôpital est rude à supporter, mais elle vous conviendra si vous aimez la médecine, si vous tenez à soulager vos semblables et à être de dignes élèves de l'école de Paris.

Prenez tour à tour et maniez habilement les divers moyens d'exploration des organes, que les procédés du chimiste, que le maniement du microscope vous soient familiers. Il n'y a pas plus d'anatomie chimique et d'anatomie microscopique qu'il n'y a de pathologie du sthétoscope ou du plessimètre, il y a les lésions à étudier et à connaître en s'aidant des meilleurs moyens d'investigation.

Visitez les musées d'anatomie de la Faculté, et principalement le musée Dupuytren ; remettez sous vos yeux les altérations morbides en les dessinant ; interrogez toujours la nature, sachez lire à livre ouvert dans le cadavre, et surtout ne me croyez point sur parole, vérifiez ce que je vous ai dit, ce sera pour vous profit d'entendre et de voir et pour moi satisfaction d'avoir dit vrai.

Messieurs, quand j'ai été chargé de ce cours ma pensée a été occupée constamment de le faire pour vous, et non pour moi, et de vous le rendre aussi profitable que possible. Plus rapproché de vous que le vénérable maître que je vais suppléer, je me suis dit : l'anatomie pathologique est un foyer lumineux dans la science médicale, il ne m'appartient pas avec ce que j'ai fait d'ajouter quelques rayons à ce foyer. Mettons donc au grand jour les grandes vérités de l'anatomie et de la physiologie pathologiques, montrons-les avec leurs applications et de plus, c'est là mon meilleur rôle, dirigeons les regards et l'esprit des élèves studieux vers les points que la lumière n'a point encore éclaircis, sur les sujets controversés, discutables ou cachés sous un voile épais.

Je m'efforcerai de vous instruire de cette manière. Si vous me voyez quelquefois ardent à la recherche de la vérité,

Digitized by Google

j'espère rester sans colères, et vous me rendrez cette justice que, discutant librement les opinions les plus accréditées, vous m'aurez trouvé plein de respect pour les personnes et toujours de bonne foi.

Vous savez maintenant, messieurs, ce que c'est que l'anatomie pathologique, vous comprenez pourquoi Dupuytren arrivé au faîte des grandeurs médicales, pourquoi le membre de l'Institut, le chirurgien de l'Hôtel-Dieu, voulant faire la chose la plus profitable à notre chère science ne trouva rien de mieux que de la doter d'un enseignement d'anatomie pathologique et d'attacher cet enseignement à la Faculté par un lien indissoluble. Aussi l'anatomie pathologique doit tenir une large place dans vos études, car elle est d'une application de tous les instants. Que vous vous destiniez à la médecine ou à la chirurgie, vous aurez grâce à elle un diagnostic sûr, elle dictera votre conduite dans les manœuvres difficiles de l'obstétrique, elle vous donnera l'autorité nécessaire si vous êtes appelé aux graves fonctions de médecin légiste. L'anatomie morbide n'est point la contemplation stérile des voies qui conduisent à la mort, c'est une science féconde en résultats, une science qui soutient et qui aide celui qui s'appuie sur elle. Cultivez, messieurs, cultivez l'anatomie et la physiologie pathologiques.

A. LABOULBÈNE.

MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE.

PHYSIOLOGIE COMPARÉE.

COURS DE M. VULPIAN (1).

Digestion stomacale.

Après avoir été imprégnés par la salive, après avoir été divisés par la mastication, les aliments, par une série d'actes consécutifs, descendent par l'œsophage, franchissent le cardia et pénètrent enfin dans la cavité stomacale. Ici va s'accomplir le premier des actes vraiment essentiels de la digestion. Les aliments qui sont arrivés là simplement divisés, humectés par le liquide salivaire, ou même sans avoir subi aucune modification, vont sortir de cette cavité déjà en partie métamorphosés.

L'agent principal de cette modification, c'est le suc gastrique.

Ici comme pour la sécrétion salivaire, nous avons plusieurs questions successives à examiner.

I.— Étude de la conformation et de la structure de l'estomac. A cette étude se rattache celle des phénomènes mécaniques de la digestion stomacale.

II.— Étude du suc gastrique en lui-même, étude de son action sur les éléments de l'alimentation.

III.— Mécanisme de la sécrétion. Influence du système nerveux sur les phénomènes dont l'estomac est le siége.

IV.— Étude de la digestion gastrique des principaux aliments.

(1) Voy. les nos 32, 33, 37, 40, 44, 45 et 46.

I. — *Conformation et structure de l'estomac dans la série des Vertébrés.*

L'estomac est ce vaste renflement qui, chez l'Homme, se présente comme une simple dilatation du tube digestif, disposée de façon que les aliments y soient retenus pendant un certain temps. Mais il ne faut pas croire que l'estomac soit un simple entrepôt, sa structure que nous étudierons plus loin nous révélera l'existence de glandes nombreuses qui sont caractéristiques et dont la présence doit fixer l'anatomiste dans la détermination parfois difficile de ce que l'on doit appeler estomac chez les divers représentants de la série animale.

Il est intéressant, au début de cette étude, de jeter un rapide coup d'œil sur les diverses modifications que peut subir cet organe chez les Vertébrés. Il nous faut, dans cette revue, commencer par l'*Amphioxus*, ce singulier animal qui forme toujours le point de départ de nos études comparées, grâce à son organisation intermédiaire à celle des Vertébrés et à celle des Invertébrés. Chez l'*Amphioxus*, l'appareil digestif est constitué par un tube faisant suite à une chambre pharyngienne ou branchiale, ce tube se continue jusqu'à l'anus sans offrir la moindre dilatation qui puisse être prise pour une poche stomacale. On observe bien en un point de ce tube un cæcum; mais, d'après les recherches les plus autorisées, ce serait plutôt un foie rudimentaire qu'un estomac. Enfin, ce tube, qui, vous le voyez, est assez semblable à celui du Lombric, est tapissé dans toute sa longueur d'un épithélium cylindrique et vibratile.

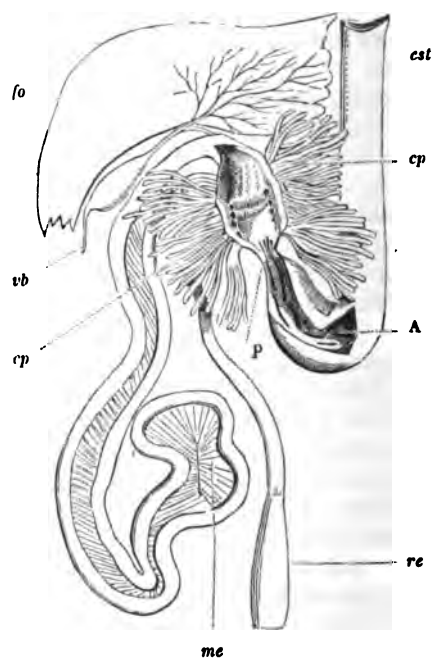


FIG. 317. — Canal digestif d'un poisson, la Morue (demi-grandeur nature). — *est*, estomac, à peine distinct de l'œsophage qui est très-court. — A, cavité de ce viscère ouvert dans sa partie pylorique. — P, le pylore. — *cp*, *cp*, cæcums pyloriques; l'intestin est ouvert à ce niveau pour montrer les orifices de ces cæcums. — *me*, mésentère. — *re*, rectum. — *fo*, portion du foie. — *vb*, vaisseaux biliaires avec leurs vésicules (d'après l'*Histoire naturelle* de M. Focillon).

Chez les Lamproies, poissons de la sous-classe des Cyclostomes, le canal digestif présente un petit perfectionnement, il y a un foie, mais le tube s'étend sans aucune flexuosité; chez l'animal vivant on observe une légère dilatation qui pourrait être

Digitized by Google

prise pour un estomac, mais cette dilatation n'a ni limite intestinale ni limite œsophagienne.

On trouve un sphincter pylorique chez la plupart des autres Poissons ; cependant, chez la Carpe, il est encore très-peu développé. L'estomac a la forme d'une poche chez les Raies, les Esturgeons, chez la plupart des poissons voraces, et il offre un prolongement tubuleux qui se terminé au pylore. Parfois il y a au niveau du pylore un renflement à parois musculeuses comme celles de l'estomac d'un oiseau granivore, et muni de même d'un épiderme très-épais et même corné. Cette dernière disposition se rencontre chez le Mugil, l'Alose.

Chez les Batraciens, l'estomac est assez semblable à celui des animaux supérieurs, si ce n'est qu'il est moins développé. Comme vous pouvez le voir sur cette Grenouille, la poche stomacale n'est guère distincte de l'œsophage, tandis que la distinction est très-nette du côté de l'intestin, en d'autres termes, le repli cardiaque est peu accusé, tandis que le repli pylorique est très-marqué. Enfin, chez les embryons, on trouve de l'épithélium vibratile dans toute la longueur du tube digestif.

Chez les Reptiles, comme vous pouvez le voir sur ces pièces tirées des collections du Muséum, l'estomac se rapproche assez de la forme de cornemuse qu'affecte cet organe chez l'Homme et les animaux supérieurs. Cependant cette forme, que l'on observe chez les Chéloniens, n'est pas la même chez les Ophidiens; chez la Couleuvre d'Amérique, la poche stomacale, sauf un petit renflement, est assez en ligne droite avec l'œsophage, si ce n'est que l'on observe dans ce petit renflement des plis de la muqueuse différents de ceux de l'œsophage. Le Caïman à museau de Brochet a un œsophage très-large en rapport avec le volume des proies qu'il avale, et sauf une petite partie qui se renfle, le tube est presque droit. Chez ces animaux, le repli pylorique est très-marqué. Cette dernière disposition s'exagère encore plus chez les Crocodiliens qui présentent deux poches stomacales, une poche cardiaque prolongée en cul-de-sac à parois charnues très-épaisses, les fibres musculaires de cette poche, que l'on peut comparer au gésier des oiseaux, naissent de deux lames aponévrotiques très-puissantes, l'une antérieure et l'autre postérieure ; ils ont de plus une poche pylorique. Cette disposition particulière est une des analogies à l'appui de l'opinion de Geoffroy Saint-Hilaire et de Blainville sur les affinités zoologiques entre les Oiseaux et les Reptiles.

Chez les Oiseaux, nous trouvons une séparation complète des attributs de l'estomac. Il y a une poche qui sert de réservoir, une dans laquelle réside la force motrice, et enfin une troisième dans laquelle se font les actions chimiques. Voici ces différentes poches prises sur une Poule. Vous voyez qu'à la partie inférieure du cou se trouve le jabot qui n'est qu'un simple magasin, une dilatation de l'œsophage et qui a la même structure que ce conduit. Puis vient le ventricule succenturié, qui contient seul des glandes à pepsine, puis le gésier ou estomac triturant.

Le jabot existe chez le plus grand nombre des Oiseaux, mais il manque chez la plupart des Passereaux, des Palmipèdes, des Échassiers et chez les Oiseaux de proie nocturnes. J. Hunter, et après lui M. Cl. Bernard ont appelé l'attention sur un phénomène des plus curieux dont le jabot est le siége chez les Pigeons. A l'époque de l'incubation, chez le mâle aussi bien que chez la femelle, la muqueuse se boursoufle, et il se fait par l'épithélium une sécrétion très-abondante d'une matière comme laiteuse. Cette matière sert de nourriture aux jeunes Pigeons pendant les premiers jours de leur vie.

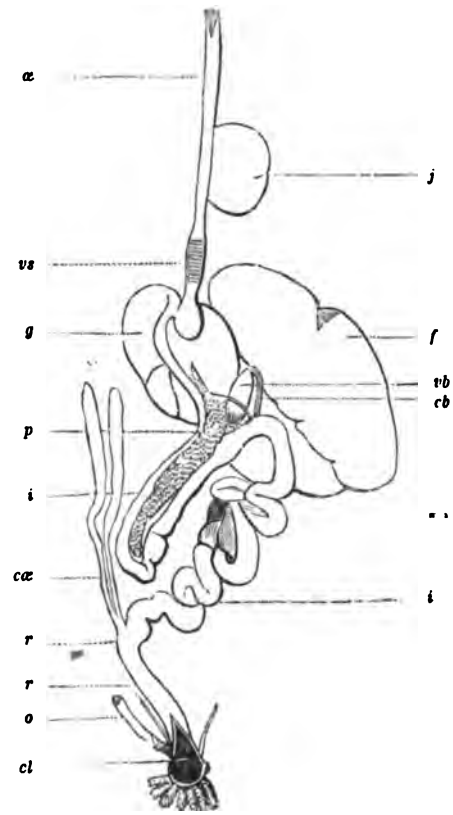


FIG. 318. — Estomac et canal digestif d'un oiseau, la Poule. — *œ*. œsophage. — *j*, jabot. — *vs*, ventricule succenturié. — *g*, gésier. — *f*, foie. — *vb*, vésicule biliaire. — *cb*, canal biliaire. — *p*, pancréas. — *i*, intestin grêle. — *cæ*, cæcum. — *r*, rectum. — *o*, oviducte. — *cl*, cloaque (d'après l'*Histoire naturelle* de M. Focillon).

Le ventricule succenturié existe chez tous les Oiseaux. C'est l'estomac fondamental : au lieu de n'être constitué, comme l'œsophage et le jabot, que par des fibres de muscles lisses recouvertes par un épithélium destiné à lubrifier seulement les substances, il contient dans l'épaisseur de ses parois des glandes à pepsine. Les glandes sont, au premier coup d'œil, analogues à de gros follicules offrant un orifice ouvert à la surface interne de la membrane muqueuse ; mais, en réalité, la paroi de ces sortes de follicules est tapissée par des tubes glandulaires simples, dont l'extrémité en cul-de-sac est dirigée vers le fond de la cavité et dont l'extrémité ouverte se trouve au voisinage de l'orifice de cette cavité. Ce sont ces tubes glandulaires qui sont les glandes à pepsine. Chez les Autruches, ces glandes, au lieu d'occuper toute l'étendue du ventricule succenturié, sont groupées sur une ande qui constitue une sorte de renflement circulaire. Il paraît que c'est le produit de la sécrétion de ces glandes qui formerait la partie nutritive des nids de l'Hirondelle de Java. Ces nids sont très-recherchés, comme vous le savez, en Chine.

Le gésier varie beaucoup comme épaisseur. Chez les Granivores, il est très-développé, mais plus l'Oiseau devient carnivore, plus cette troisième partie diminue d'épaisseur. Voici l'estomac d'un Vautour, vous voyez que le gésier a perdu presque toute son épaisseur. Mais chez les Granivores, chez le Poulet, le gésier est constitué par des muscles d'une épais-

Digitized by Google

seur énorme, ces muscles viennent s'insérer sur deux lames aponévrotiques situées sur chacune des deux faces de l'organe, et quelquefois on y trouve des muscles surajoutés. A l'intérieur, le gésier est revêtu d'une lame très-dure, la couche cornée, qui, pour la plupart des anatomistes, est considérée comme de formation épithéliale, et qui, pour M. Leydig, est le résultat d'une solidification des produits de sécrétion. Le gésier contient bien des glandes, mais le suc qu'elles sécrètent est complétement dépourvu de pepsine. L'épaisseur des muscles est du reste en rapport avec la puissance d'action nécessaire. Elle peut être modifiée suivant les changements de régime que l'on impose à l'Oiseau. J. Hunter, en nourrissant des Goelands et des Faucons avec de l'orge, était parvenu en un an à doubler l'épaisseur de la couche musculaire de leur gésier.

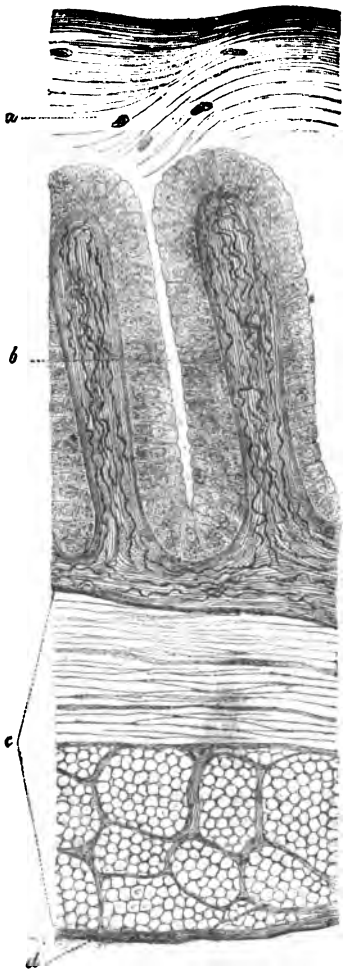


Fig. 319. — Coupe à travers l'estomac musculeux du Héron. — *a*, couche gélatineuse analogue à l'épiderme calleux des autres oiseaux. — *b*, refoulements glandulaires de la muqueuse. — *c*, couches de la membrane musculeuse. — *d*, revêtement conjonctif de l'estomac.

En remontant l'échelle des Vertébrés, nous sommes arrivé à vous parler des Mammifères. Ici nous trouvons des estomacs simples ou des estomacs composés. L'estomac simple est celui du Chien, du Porc, etc.; c'est une simple dilatation présentant les mêmes caractères morphologiques que le reste du tube digestif. Il est composé d'une couche musculaire, formée par des muscles à fibres lisses, ou muscles de la vie organique. Il y a une séreuse, représentée par le péritoine ; mais ce qui nous importe surtout d'étudier, c'est la muqueuse. Cette muqueuse forme des replis, de vraies papilles, elle est revêtue d'un épithélium cylindrique non vibratile. Chez l'Homme, l'épithélium pavimenteux qui tapisse l'œsophage s'arrête au cardia, sa limite y est indiquée par un bord frangé.

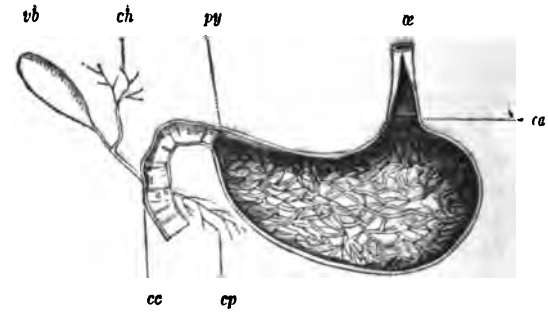


Fig. 320. — L'estomac de l'homme ouvert et montrant les plis de la muqueuse, à sa suite le duodénum également ouvert. — *œ*, œsophage. — *ca*, cardia. — *py*, pylore. — *ch*, canal hépatique. — *vb*, vésicule biliaire avec son canal cystique. — *cc*, canal cholédoque, aboutissant dans le duodénum à côté de l'orifice du canal pancréatique *cp* (d'après l'*Histoire naturelle* de M. Focillon).

L'élément le plus intéressant de cette muqueuse, ce sont les glandules qui en tapissent les parois en nombre si grand qu'elles se touchent toutes. Ces glandules auraient été, paraît-il, entrevues par Vésale, mais il fallait un microscope pour les étudier plus profondément. Au siècle dernier, Galeati et Lieberkühn les décrivirent. Mais cette étude était presque oubliée lorsqu'elles furent retrouvées et décrites de nouveau en 1836 par M. Sprott Boy qui les étudia sur l'Homme, le Cochon, le Cheval et d'autres Mammifères. Puis elles furent étudiées par Purkinje et Bischoff, enfin par des auteurs plus modernes. Ces glandes sont de deux sortes, ce sont des glandes simples ou des glandes composées; mais il y a une distinction bien plus importante : il y a des glandes muqueuses et des glandes à pepsine comme les a appelées Frerichs. Les premières, que l'on rencontre exclusivement dans les environs du pylore chez l'Homme et chez un certain nombre

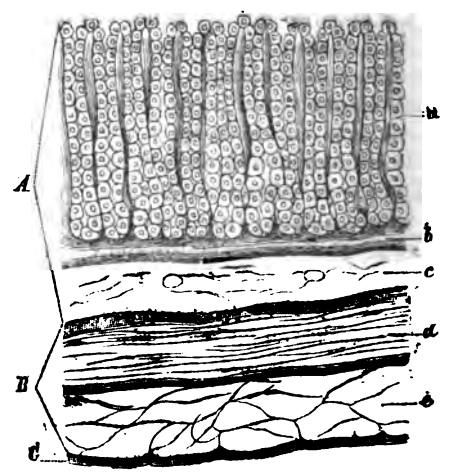


Fig. 321. — Coupe perpendiculaire à travers les membranes de l'estomac chez l'homme, d'après Leydig. — *A*, muqueuse. — *B*, muqueuse musculaire. — *C*, enveloppe séreuse. — *a*, glandes. — *b*, couche musculeuse de la muqueuse. — *c*, son stratum conjonctif. — *d*, *e*, couches longitudinales et transversales de la muqueuse musculaire.

Digitized by Google

d'animaux à estomac simple, sont toujours des glandes composées. Ce sont des tubes qui, à une certaine distance de la surface de la muqueuse, donnent plusieurs cæcums, deux ou trois, se terminant en infundibulum et garnis jusqu'au fond du cul-de-sac d'épithélium cylindrique. Quant aux glandes à pepsine qui tapissent tout le reste de l'estomac, mais surtout la région cardiaque, elles sont presque toutes simples : on en trouve quelques-unes qui sont composées, surtout au voisinage du cardia. Ces glandes sont constituées par des tubes droits dans leur portion supérieure; dans leur portion profonde, ils paraissent bosselés. Ils sont, dans la première partie, recouverts d'un épithélium cylindrique, puis à l'endroit où le tube prend un aspect bosselé, les cellules d'épithélium change de nature, et deviennent pavimenteuses, ou même sphéroïdales. Ce sont là les cellules à pepsine, cellules qui parfois, non-seulement tapissent les parois du tube, mais y sont en si grand nombre qu'elles en oblitèrent presque la lumière. Ce sont les vraies cellules à suc gastrique, les autres glandes qui sont au voisinage du pylore ne fabriquent que du mucus lubrifiant. Cette distinction ne saurait faire l'ombre d'un doute. L'expérience directe faite par M. Schiff

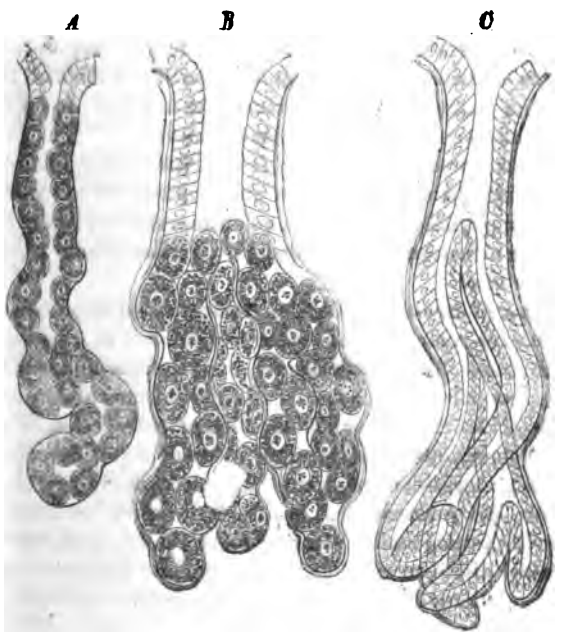


Fig. 322. — Glandes stomacales de l'homme représentées isolément d'après Leydig. — *a*, glande à caillette simple. — *b*, glande composée. — *c*, glande de la muqueuse stomacale à cellules cylindriques.

en comparant le pouvoir gestif de la portion cardiaque de l'estomac de l'Homme, du Chien, du Lapin, à celui de la portion pylorique, a montré que le pouvoir digestif appartient presque exclusivement à la région cardiaque de l'estomac. Si la membrane muqueuse de la portion pylorique donne un liquide doué de faibles propriétés digestives, cela tient à ce qu'on trouve dans cette région quelques glandes pepto-gastriques mêlées aux glandes à mucus. Les recherches de MM. Kœlliker et Goll parlent dans le même sens. Une série de digestions artificielles faites avec de la muqueuse d'estomac de Cochon ont donné des résultats positifs lorsqu'on se servait de la partie moyenne, surtout au voisinage de la grande courbure où seulement existent des glandes à pepsine chez cet animal. En peu de temps les matières protéiques, légèrement acidifiées, étaient dissoutes, tandis que lorsqu'on employait la membrane muqueuse de la région pylorique, on n'observait aucune digestion.

Ces glandules sont entourées d'éléments de tissu conjonctif, mêlés d'éléments musculaires : au-dessous d'elles se trouve la couche musculaire de la membrane muqueuse. En procédant ainsi, du dedans au dehors, nous voyons ensuite une couche de tissu conjonctif : la couche nerveuse des anciens. Il est singulier que, sans qu'on eût alors des raisons suffisantes, ce nom ait été donné à la partie des parois de l'estomac dont les recherches modernes nous ont appris à connaître la richesse en éléments nerveux. Au-dessous, on rencontre une couche musculaire formée de deux plans, dont les fibres semblent être la continuation des fibres de l'intestin et qui sont croisées par des fibres en cravates. Vous savez que ces diverses couches reçoivent de nombreux vaisseaux et que les nerfs de l'estomac proviennent du pneumogastrique et du grand sympathique. Mais je suis obligé de revenir plus tard sur ces derniers détails, je ne m'y arrête pas, et j'arrive immédiatement aux modifications de conformation que l'estomac, dont je viens de vous exposer brièvement la structure, présente dans les divers groupes de la classe des Mammifères.

Chez les Quadrumanes, l'estomac est simple, comme vous pouvez le voir sur ce tube digestif de Papion. Cependant, il faut excepter les Semnopithèques et le Colobe sur lesquels je reviendrai plus tard. Il est simple également chez les Cheiroptères, les Insectivores, Carnivores, chez divers Rongeurs, chez les Édentés ordinaires, certains Pachydermes, les Marsupiaux et les Monotrèmes.

Chez bon nombre de Mammifères, l'estomac se divise en deux ou plusieurs poches. Déjà chez l'Homme on a noté parfois une tendance à la division (Haller, Everard, Home, Ph. Bérard, Rouget), on a vu des estomacs biloculaires, et cette forme, loin d'être une exception pour certains auteurs, constituerait au contraire la forme normale pendant la vie. Toujours est-il que, dans l'immense majorité des cas, on ne trouve pas l'estomac étranglé vers son milieu, formant ainsi comme deux loges : cette disposition, évidemment exceptionnelle dans les conditions ordinaires d'observation, a été constatée presque exclusivement chez des suppliciés ou à la suite de morts subites.

Cette tendance est très-nette chez le Rat, comme vous pouvez vous en assurer. Sur la pièce que je vous montre, non-seulement il y a une dépression circulaire à l'extérieur, mais à l'intérieur il y a une différence de coloration très-marquée, et l'épithélium pavimenteux semblable à l'œsophage se continue dans toute la moitié cardiaque de la muqueuse, tandis que chez l'Homme cet épithélium s'arrête au cardia. Chez le Castor, les glandes à pepsine sont rassemblées en une masse glandulaire près du cardia, sur la petite courbure. Chez le Cheval, l'épithélium pavimenteux se continue également dans toute la moitié cardiaque, il y a ainsi deux poches distinctes, la première est blanche, unie, ce n'est qu'un réservoir d'aliments, la poche pylorique seule est brune, réticulée ; seule, cette dernière est garnie de glandes à pepsine.

Ce ne sont là que des estomacs qui ont une tendance à se diviser ; mais ce ne sont pas des estomacs franchement composés. Il n'en est plus de même chez les Semnopithèques et le Colobe. Là, il y a trois poches, deux communiquent avec l'œso-

Bibliothèque nationale

phage, la troisième avec le pylore. La seconde a ses parois boursouflées sur différents points, de façon à constituer un grand nombre de compartiments secondaires disposés en une double série. Chez les Paresseux (l'Aï et l'Unau), il y a quatre poches comme chez les Ruminants : la première, qui représente la panse, est divisée en deux chambres, dont l'une offre un cul-de-sac. Du reste, Duvernoy a conjecturé que ces animaux effectuaient peut-être une véritable rumination; mais aucune recherche n'est venue confirmer cette vue théorique.

Dans l'ordre des Pachydermes, on trouve déjà chez le Cochon un appendice à la région cardiaque, mais cette disposition est autrement manifeste chez le Pecari. Il y a deux poches bien distinctes, et, comme vous pouvez le voir sur cette pièce, la poche cardiaque en outre est munie de deux grands prolongements cæcaux. Chez l'Hippopotame, la disposition est encore plus compliquée. Le cardia communique dans trois poches cæcales et dans un long compartiment cylindrique qui, à l'intérieur, est subdivisé par des replis valvulaires, et se termine par un canal étroit replié sur lui-même et aboutissant au pylore.

Passons à l'ordre des Cétacés : il y a une conformation très-complexe, chez les Lamentins et aussi chez les Cétacés ordinaires ou Souffleurs. Il y a trois estomacs bien distincts qui, souvent même, sont subdivisés, si bien qu'en y comprenant un renflement du duodénum, quelques auteurs ont compté jusqu'à six et même sept poches stomacales. Je vous montre ici cette disposition en mettant sous vos yeux l'estomac du Marsouin.

Enfin, il me resterait à vous parler des Ruminants qui ont quatre poches stomacales bien distinctes, mais je reviendrai plus tard sur l'estomac de ces animaux, lorsque je traiterai de la rumination.

Je vous ferai remarquer, en terminant cette revue rapide des animaux à estomacs composés, que celle de ces poches qui mérite seule, à vrai dire, le nom d'estomac, c'est la dernière, celle qui contient des glandes à pepsine.

E. Brémond.

MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE.

ZOOLOGIE
(Annélides, Mollusques, Zoophytes).

COURS DE M. LACAZE-DUTHIERS (1).

IX

Organisation des Oursins : Système nerveux. Reproduction.

Messieurs,

Nous avons étudié, dans notre précédente leçon, la disposition générale des organes qui concourent à la conservation de l'individu chez les Oursins.

L'étude du test nous a d'abord occupés : c'est en effet aux divisions que l'on a établies dans sa disposition générale que l'on rapporte les différents organes de l'animal, et c'est sur cette disposition que s'est basé M. Agassiz pour la détermination de l'orientation des Oursins. Nous avons vu que le tube digestif contourné et fixé sur la surface interne du test par des replis mésentéroïdes, présente un grand développement. Cet intestin, dont les parois semblent destinées à sécréter des liquides propres à la digestion, donne lieu à une observation de physiologie générale que je ne puis ne pas vous signaler.

L'histoire de la digestion dans les animaux supérieurs, en ce qui concerne les grands actes qui la constituent, est complète ; nous savons, d'une part, sous quelles actions chimiques et mécaniques s'opère la dissolution des matières alimentaires, et, d'autre part, comment le produit de ce travail passe par l'absorption dans la circulation. Nous observons sur les parois de l'intestin des villosités qui renferment dans leur intérieur des vaisseaux chylifères et des vaisseaux sanguins dans lesquels l'endosmose fait pénétrer les matières assimilables préparées dans le tube digestif.

Dans les Zoophytes cœlentérés, les Polypes, par exemple, l'absorption, en tant que phénomène distinct, n'existe plus ; les produits de la digestion passent en nature et directement dans les canaux de la circulation qui s'ouvrent par des orifices dans la cavité générale.

Dans les Échinodermes, au contraire, rien de semblable; il n'y a ni villosités, ni orifices pour expliquer le passage du produit de la digestion dans les canaux circulatoires. Et ce fait est commun à toute une grande catégorie d'animaux, comprenant les Insectes, les Crustacés et les Mollusques : chez tous ces animaux il existe un tube digestif très-distinct, mais on n'a pas encore observé d'organe d'absorption ; on est sous ce rapport dans l'ignorance la plus absolue.

Il y a là un sujet de recherches fort intéressant, et ce serait travailler à un résultat des plus importants, au point de vue de la physiologie générale, qu'entreprendre de faire connaître le mécanisme de l'absorption chez les animaux que je viens de citer.

L'appareil digestif des Oursins est armé d'un organe masticateur assez compliqué. La *lanterne d'Aristote* se compose de quatre ordres de pièces, désignées sous les noms de *pyramides*, *dents*, *faux* et *compas*. Nous avons vu les formes de toutes ces parties et les rapports qu'elles affectent entre elles, et vous vous rappelez que cet appareil se résume, en fin de compte, dans la juxtaposition par deux de leurs faces de cinq pyramides creuses, qui forment ainsi une sorte de cône, ou mieux de pyramide pentagonale à sommet dirigé en bas, à base dirigée en haut, divisé en cinq loges dans chacune desquelles glisse une dent dont la partie aiguë et tranchante fait saillie au centre de l'orifice buccal de l'Oursin.

Toutes ces pièces sont unies entre elles par des ligaments et mises en mouvement par des muscles : la mastication se fait par le rapprochement des dents, qui lui-même est déterminé surtout par le rapprochement des pyramides, celles-ci agissent, par conséquent, comme les mâchoires des animaux supérieurs.

La connaissance de la lanterne d'Aristote est sans doute un peu difficile, mais elle est très-importante, et peut-être devrait-on chercher dans ses modifications plus qu'on ne le fait, des caractères de spécification.

Les organes destinés à l'hématose sont de deux sortes d'après Valentin et von Siebold : les *branchies externes* placées autour de la bouche, les *branchies internes*, doubles rangées de petites vésicules placées le long de la face interne du test, recouvrant les aires ambulacraires, et communiquant par les pores avec les ambulacres.

Quant aux organes de la circulation, ils se réduisent à un

(1) Voyez les nos 16, 18, 19, 22, 23, 28, 29 et 31.

Digitized by Google

cœur placé sur l'œsophage, duquel partent deux vaisseaux principaux qui vont l'un à la lanterne, l'autre à l'extrémité anale : ce sont les artères appelées par Valentin intestinales, car elles suivent l'intestin; des *veines intestinales* leur correspondent; enfin chacun de ces deux ordres de vaisseaux forme autour de l'œsophage et de l'anus un anneau d'où partent et où se rendent les vaisseaux des organes; les vaisseaux des branchies aboutissent aux anneaux du pourtour de l'anus.

Tel est en résumé ce que je vous ai exposé dans notre dernière réunion. Après avoir vu comment la conservation de l'individu est assuré, il nous reste à étudier comment l'Oursin apprécie le monde extérieur et comment il perpétue son espèce : ce sera le double objet de la leçon d'aujourd'hui.

Les *organes de l'innervation* comprennent un centre nerveux, des nerfs et enfin des organes de sensation particulière.

Le centre nerveux consiste en un anneau ou un collier périæsophagien. Si l'on suit l'œsophage en se dirigeant vers la bouche de l'animal, on arrive à la base de la lanterne : à ce niveau, les organes circulatoires forment le cercle que nous avons décrit, cercle que l'on a pris pour le centre nerveux lui-même.

Plus bas, près de la bouche, en écartant les pyramides, on découvre le cercle ou plutôt l'anneau pentagonal nerveux. Dans l'*Echinus lividus*, cette anatomie si difficile du système nerveux de l'Oursin est facilitée par la coloration violette souvent très-vive des éléments, coloration due à la présence d'un pigment abondant surtout dans les parties centrales.

De cet anneau partent quelques nerfs qui vont se distribuer aux muscles de la lanterne; mais les plus importants sont ceux qu'on nomme *ocellaires*.

Ces nerfs sont au nombre de cinq : ils partent de chacun des angles du pentagone central.

Les nerfs ocellaires passent entre les deux pyramides correspondantes à leur point d'origine, en rapport, par conséquent, avec le ligament oblique interne; sortant de la lanterne, ils arrivent en face des auricules qui, comme nous savons, alternent avec les pyramides, et correspondent, par conséquent, à leurs intervalles : les nerfs passent sous l'anneau calcaire qui les constituent. Or, en face des auricules se trouve la série des ambulacres; le nerf longe l'intervalle des deux séries ambulacraires, entre les deux portions des branchies internes, parallèlement à l'artère et à la veine branchiale.

Suivant toute la courbe du test le long de cette ligne, le nerf aboutit au sommet des petites plaques de la rosette apicale, que nous connaissons déjà sous le nom de *plaques ocellaires*, et qui alternent avec les cinq grandes *plaques génitales* qui font face aux séries interambulacraires.

Au sommet ou à l'angle externe de chacune de ces petites plaques est un pore appelé *pore oculaire*. A travers ce pore un organe particulier fait saillie, organe considéré par Valentin comme un organe oculaire, dans lequel il déclare pourtant n'avoir jamais pu trouver un cristallin ou un corps lenticulaire. MM. Agassiz et Krohn appellent ces organes des yeux. Il est certain que le nerf dont nous avons indiqué la marche, et que l'on nomme nerf ocellaire, aboutit en fin de compte à cet organe, et pénètre dans son intérieur.

Cet exposé rapide de la composition de l'appareil nerveux des Oursins nous a permis de constater une fois de plus l'utilité des données précises sur la composition de l'enveloppe externe des Échinides. C'est en effet aux parties constituantes de cette enveloppe que se rattachent dans les descriptions tous les organes de l'animal.

Il est un autre ordre d'organes qui méritent au plus haut degré l'attention du naturaliste. Ce sont des appendices que l'on retrouve sur toute la surface externe de l'Oursin, et qui furent décrits pour la première fois par Otto-Frédéric Müller, qui les considéra comme des parasites.

Ce sont de petits corps pédonculés insérés surtout dans le voisinage des ambulacres, avec lesquels on les a longtemps confondus. Le pédicule, plus ou moins long, est terminé par une portion renflée en massue et formée de pièces multiples, mobiles, plus ou moins compliquées, mais dont on se fera une idée générale juste en les comparant aux valves d'une pince.

On donne à ces organes que nous allons décrire le nom de *pédicellaires*. D'après Valentin, qui les a le mieux étudiés, on en rencontre trois formes, auxquelles il donne les noms de *pédicellaires gemmiformes, pédicellaires tridactyles* et *pédicellaires ophiocéphales*.

Les *pédicellaires gemmiformes* se rencontrent sur toute la surface du test dans l'*Echinus lividus*, autour des gros tubercules avec lesquels s'articulent les piquants aussi bien qu'autour des ambulacres. Leur forme générale est celle d'une tigelle mince, terminée par un renflement globuleux supérieur ou *bouton*.

Ils sont formés d'une partie molle ou d'enveloppe, et d'une partie calcaire ou *squelette*.

Le squelette comprend une portion tigellaire, baguette calcaire renflée à son sommet et désignée pour cette raison par le nom de *massue*. L'extrémité supérieure de cette massue, s'articule avec un *arc* ou *canal semi-circulaire*, articulé lui-même avec les pièces basilaires qui portent les parties calcaires mobiles du bouton ou valves de la pince terminale.

Ces valves sont au nombre de trois : de là la forme trilobée du bouton. Chacune d'elles consiste en une tigelle calcaire qui, d'abord droite, se recourbe vers son extrémité supérieure pour converger vers l'axe du bouton. Cette partie recourbée se dédouble pour former une dent supérieure simple, et une dent inférieure bifide.

Les valves peuvent s'écarter et agir, en se rapprochant, comme les valves de véritables pinces. Les pédicellaires gemmiformes dans l'*Echinus lividus* sont opaques : aussi est-il nécessaire, pour rendre le tissu d'enveloppe transparent et pouvoir ainsi observer les pièces calcaires, de les traiter par une solution de potasse. Le renflement basilaire du bouton a paru à Valentin renfermer des fibres musculaires.

Les *pédicellaires tridactyles* sont de tous les plus grands. On les rencontre surtout dans le voisinage des ambulacres. Les trois parties calcaires formant pince sont allongées, et, rapprochées, représentent une pyramide triangulaire. Chacune de ces trois valves est aiguë, — le bouton est donc acuminé, — large à sa base, et finement dentée sur les bords.

Les *pédicellaires ophiocéphales ou de la membrane buccale* sont surtout nombreux dans le voisinage de la bouche ; tandis que dans les pédicellaires gemmiformes, nous avons vu la massue remonter jusqu'à l'extrémité de la tige presque de façon à s'articuler avec les pièces basilaires du bouton; ici, au contraire, ces deux portions calcaires sont très-éloignées : les tissus mous prolongent la tige bien au delà du point où s'arrête le squelette. La conséquence naturelle de cet éloigne-

Digitized by Google

ment de la tête et de la massue, c'est une plus grande mobilité des pédicellaires ophiocéphales.

Dans cette troisième espèce de pédicellaire, les deux valves de la pince ont été comparées à des cuillers. Elles en reproduisent en effet assez exactement la forme générale. Leurs bords largement échancrés sont finement dentelés. Elles sont convexes extérieurement et s'engrènent par les échancrures de leurs bords.

Telles sont les trois dispositions générales auxquelles peuvent se rapporter les pédicellaires disséminés sur les différentes parties de la surface extérieure de l'Oursin.

Que sont ces pédicellaires, et quel est leur usage? — Cette question, qui a préoccupé les zoologistes, a été résolue différemment.

L'opinion de M. Agassiz ne doit plus être rapportée que pour l'histoire, les travaux même, de son auteur ayant plus tard montré qu'elle n'était nullement fondée. Trouvant une certaine analogie entre les pièces calcaires du bouton des pédicellaires et la composition de l'appareil masticateur de l'Oursin, il pensa que ce pouvaient être de jeunes embryons fixés sur le test de leurs parents.

Otto-Frédéric Müller les avait regardés comme des parasites.

Enfin, quoiqu'il y ait encore quelque doute à garder à ce sujet, on semble autorisé à accepter l'opinion de MM. Valentin et von Siebold, qui les considèrent comme des organes préhenseurs chargés de saisir l'aliment dans l'eau qui baigne l'Oursin pour se le passer, si l'on ose dire, de main en main, jusqu'à la bouche.

Reproduction. — Il ne nous reste plus maintenant qu'à apprendre à connaître comment l'animal arrive à perpétuer son espèce, pour avoir parcouru les principales particularités d'organographie et de physiologie qui peuvent servir à une définition rigoureuse et complète de l'Oursin.

Étudions donc successivement les glandes qui produisent les éléments de la reproduction et l'évolution des produits de ces glandes.

M. Valentin fait remarquer, avec raison, que bien avant que les zoologistes se fussent occupés de cette question, on connaissait la séparation des sexes chez les Oursins. Les populations des côtes de la Méditerranée font en effet usage des Oursins dans leur alimentation. Or, les seules parties comestibles de l'animal sont les glandes de la reproduction; aussi avait-on remarqué depuis longtemps que ces glandes sont, suivant les individus, les unes rouges et les autres blanches; les premières sont les ovaires, les secondes les testicules. La séparation des sexes est donc un fait d'observation vulgaire. Ajoutons cependant que cette différence dans la coloration n'est pas un signe toujours suffisant pour la reconnaissance du sexe de l'animal : dans la plupart des cas, l'apparence générale diffère si peu, qu'il est nécessaire d'avoir recours au microscope pour reconnaître le sexe par l'examen des éléments.

La position des glandes est semblable dans les deux sexes. Au nombre de cinq, elles occupent le milieu des espaces interambulacraires : elles alternent donc avec les branchies internes.

Nous pouvons de ce fait tirer des conséquences. D'abord, c'est qu'il doit y avoir une glande postérieure et impaire, puisque, d'après l'exposé que je vous ai fait des idées d'Agassiz sur la position qu'il convient d'assigner à l'Oursin, il y a une aire ambulacraire antérieure et impaire. Il y aura donc deux glandes à droite et deux glandes à gauche.

Vous souvient-il encore de cette particularité que présente l'intestin? Il s'approche du test beaucoup plus vers les aires interambulacraires que vers les branchies internes; de là cette forme des circonvolutions qui traduisent les cinq parties de la symétrie générale. Ceci conduit à retrouver sur les glandes génitales qui se trouvent couchées sur les espaces interambulacraires et qui sont, par conséquent, en rapport avec les courbes de l'intestin, l'impression de ces courbes. En se développant la glande se moule, en effet, sur le tube digestif, et l'on observe, quand l'organe est fortement gonflé, des sillons dans lesquels étaient logés les arcs intestinaux.

Quel que soit le sexe, les glandes de la génération des Oursins doivent être rangées dans le groupe des glandes en grappe. Un canal impair et médian se voit sur toute la longueur de la glande. Autour de ce canal un tissu mou, granuleux, facilement altérable, représente la masse des acini.

La glande se réduit ici, suivant la règle générale, à un cul-de-sac sécréteur dont l'extrémité, plus ou moins renflée et globuleuse, constitue l'acinus ou le grain, l'élément glandulaire. Vous connaissez la théorie générale des sécrétions, telle qu'on l'admet aujourd'hui à peu près unanimement, telle qu'elle a été surtout soutenue par Goodsir : elle se réduit à considérer l'acinus comme un cul-de-sac à paroi propre et anhiste, tapissée à sa surface interne d'une couche de cellules. Ces cellules, se développant et se détachant, tombent dans la cavité de l'acinus, enfermant encore le produit de la sécrétion qui, plus tard, est mis en liberté par la rupture des parois cellulaires.

Les glandes génitales ne font pas exception à cette façon générale de produire les éléments nouveaux. Dans un cas les cellules des parois de l'acinus développent des œufs; dans un autre cas, des spermatozoïdes. Dans le premier cas, la cellule ne produit qu'un seul élément, l'œuf, qui seul la remplit entièrement; dans le second, elle produit des corpuscules secondaires dans lesquels apparaissent les spermatozoïdes, corpuscules qui prennent naissance par formation endogène d'éléments nouveaux aux dépens de la masse totale que la cellule renfermait d'abord.

C'est cette formation endogène secondaire que l'on a voulu comparer au fractionnement de l'œuf, et c'est suivant cette idée que l'on a donné, bien à tort, le nom d'*œuf mâle* à cet élément formateur des spermatozoïdes, accouplant ainsi deux mots qui ne semblent pas pouvoir être rapprochés. L'œuf et la cellule spermigène peuvent avoir quelques traits de ressemblance, mais ils ont *en puissance* chacun une chose différente, et, quand ils entreront *en acte*, ils arriveront à une *entéléchie* essentiellement distincte.

Donc, en ce qui concerne les glandes de la génération des Oursins, il existe dans les deux sexes une grande analogie dans la structure de la partie productrice, mais il existe en même temps ici, comme toujours, une différence totale quant à l'élément produit.

Il y a cinq glandes génitales, avons-nous dit: pour chacune d'elles existe un canal excréteur. Ce canal s'ouvre à l'extérieur par le pore de la plaque génitale correspondante. Cependant le voisinage d'autres organes avait donné lieu à une erreur anatomique que Valentin a signalée. Si l'on soulève le pentagone apical, et qu'on le regarde par sa face inférieure, on le voit circonscrit par un anneau ou un canal cir-

Digitized by Google

culaire, qui semble réunir les canaux excréteurs et leur servir de moyen d'anastomose pour les faire s'ouvrir au dehors par un orifice commun. Ce canal circulaire n'est, d'après Valentin, que l'anneau vasculaire qui établit l'anastomose périanale des artères et des veines.

La fécondation est extérieure. Les œufs et la liqueur spermatique sortent par les pores génitaux, parfois en jets assez vifs. Cette projection des éléments de la génération est sans doute occasionnée par la compression que l'intestin gonflé par l'eau exerce sur la surface des glandes. Une autre cause de la sortie de ces éléments qui se retrouve, du reste, chez presque tous les animaux inférieurs, est l'action des cils vibratiles qui tapissent les canaux excréteurs des glandes et dont les mouvements produisent des courants dirigés de dedans en dehors qui entraînent les œufs et les filaments spermatiques.

La fécondation est abandonnée au hasard. Le mâle lance la semence, la femelle pond ses œufs; les courants de l'eau qui baigne les Oursins, le rapprochement ou l'éloignement des individus, favorise ou empêche le contact nécessaire des deux éléments. L'analogie entre ce qui se passe ici et ce que l'on observe dans les plantes dioïques est entière.

Nous arrivons maintenant, messieurs, à l'étude du développement de l'embryon chez les Oursins.

L'historique de l'importante découverte de l'embryogénie des Oursins nous fournit une preuve de plus à l'appui de ce que je vous disais précédemment : dans l'histoire de la science ou d'une partie de la science comme dans celle de l'homme qui travaille à ses progrès, nous trouvons trois périodes : la période des faits, la période des monographies ou de l'étude complète de groupes restreints, celle enfin de la généralisation.

De même ici, des faits se furent observés d'abord, que l'on consigna isolément, sans qu'on se doutât qu'ils dussent être rattachés à d'autres déjà connus. On trouve des embryons si différents des parents qu'on les décrit comme des êtres distincts que rien ne semble rattacher à d'autres êtres connus et classés. C'est ainsi que J. Müller, dans la mer du Nord, dans la Baltique, dans l'Adriatique, à Marseille, à Nice, observe des embryons d'Échinodermes qu'il décrit sous les noms de *Pluteus*, *Bipinnaria*, *Auricularia*, *Brachiolaria*, etc. Dans cette première période, comme le dit avec raison M. Dareste en analysant les travaux de Müller, on fit quelque sorte un journal d'observations ; ces observations prenant plus tard la place qui leur convenait, ont contribué à établir en un corps de doctrine l'ensemble des faits relatifs au développement des Échinodermes.

C'est à Müller qu'est due la première observation. Mais bientôt après lui, si ce n'est presque en même temps, en 1847, M. Krohn et M. Derbès, professeur à la Faculté de Marseille, publièrent des faits de la plus grande importance, admis par Müller lui-même, qui ne fait souvent commencer ses descriptions qu'au point où finissent celles de M. Derbès.

Vers cette époque, en 1847 et 1848, la mode vint de s'occuper, après un brave et intelligent pêcheur, de l'élève du poisson. Les savants s'emparèrent de ce qu'une longue pratique et une observation patiente et pénible avaient appris à Rémy. La fécondation artificielle ayant pris naissance, l'idée vint d'en faire l'application sur les Oursins, application d'autant plus facile que ces fécondations réussissent le mieux sur les animaux à sexes séparés qui ne s'accouplent pas. Ainsi il fut possible de suivre les premières phases du développement des Échinodermes, ce qui conduisit MM. Derbès, Krohn et Müller à des résultats qui permirent de déterminer la vraie nature des petits êtres qu'on avait observés vivants et libres dans les mers.

Ces embryons d'Oursins abondent sur nos côtes de la Méditerranée. A Cette, à Toulon, à Marseille, à Port-Vendres où l'*Echinus lividus* noircit la roche, à Alger, à Mahon, à Ajaccio, il suffit de chercher une anfractuosité de la côte, une encoignure du port, lorsqu'une brise douce et favorable y pousse la partie supérieure de l'eau en rides légères, et de promener sur cette surface de l'eau un flacon à demi incliné, pour voir s'y précipiter tout un monde dans lequel les embryons d'Oursins entreront pour une grande part.

La forme la plus générale sous laquelle se présentera l'embryon de l'*Echinus lividus* est celle d'une voûte, ou mieux d'une pyramide quadrangulaire dont le sommet s'arrondit en dôme, et dont la base est échancrée en arceaux. Quatre piliers sont rapprochés de façon à déterminer quatre faces, unis qu'ils sont par une substance hyaline, molle, transparente. Ces quatre piliers divergent de plus en plus à mesure qu'ils s'éloignent davantage du sommet; mais la divergence est plus grande dans deux sens : de là il résulte que les faces de la pyramide ne sont pas égales; deux, opposées, sont plus larges; la projection ne donnerait donc non pas un carré, mais un rectangle assez allongé.

Ceci nous permet déjà de poser d'une certaine façon le jeune être. Il est évident qu'il y a ici symétrie, non par rapport à un centre, mais par rapport à un plan. Il nous faut maintenant un autre point de repère qui nous permette de déterminer la face antérieure et la face postérieure de l'animal. Nous allons le prendre dans l'observation du tube digestif.

Disons de suite que les deux faces les plus petites sont latérales, que les deux faces les plus grandes sont l'une antérieure, l'autre postérieure.

Par les progrès du développement, on voit entre les deux piliers d'une face plus large, et du milieu de l'arcade que forme en bas la substance hyaline de cette face, s'abaisser une production molle, quadrilatère, qui descend entre les piliers en s'avançant un peu en avant comme un *velum*, ou suivant l'expression de Müller, comme une *marquise* au-devant d'une porte. C'est sur cette marquise et sur sa face interne, regardant par conséquent le centre de la voûte hyaline, que s'ouvre la bouche. L'anus se trouve sur la large face opposée à celle qui porte la marquise. On est convenu d'appeler cette dernière face, qui porte l'anus, face antérieure. Bien qu'on ne ne voie pas trop la raison de cette détermination, acceptons-la.

Voilà posé notre embryon d'Oursin. Voyons quelle est son organisation.

Un appareil digestif s'est creusé dans la substance molle qui constitue la masse du corps. Il peut se diviser en trois parties : de la bouche part une première portion nommée *œsophage*, à laquelle fait suite un *estomac*, puis un *intestin*. Chacune de ces trois portions est globuleuse, renflée, ce qui permet d'établir ces distinctions.

Au point de vue de la direction générale, on observe que, partant de la bouche, le tube digestif se recourbe légèrement vers la face postérieure ou de la marquise pour s'infléchir ensuite et se diriger vers la face antérieure, et aboutir finale-

Digitized by Google

ment à l'anus qui s'ouvre sur un plan plus élevé ou plus rapproché du sommet de la voûte que la bouche.

Outre ces parties molles, une partie solide, un appareil calcaire, un squelette, entre dans la constitution d'un embryon de l'Oursin. C'est une charpente grêle et épineuse qui supporte les parties molles, et donne à ces embryons une certaine rigidité. On peut la diviser en deux parties : l'une directe, formée de deux tigelles épineuses qui partent du sommet de la pyramide et se dirigent vers l'extrémité des deux piliers limitant la face antérieure; l'autre, en quelque sorte réfléchie, est formée par deux baguettes qui dépendent des deux précédentes, et s'en séparent vers leur partie moyenne pour se diriger comme un rameau de la portion directe vers les piliers de la face postérieure qu'elles supportent.

Les organes moteurs sont des cils vibratils distribués sur l'animal d'une façon particulière. Quatre bourrelets placés sur les angles formés par les piliers à peu près vers le milieu de la hauteur de l'embryon, en sont garnis : ces quatre organes moteurs portent le nom d'*épaulettes vibratiles* (*Wimper-Epauletten*).

De plus, une double bande ciliaire existe de chaque côté des piliers et des bras. Enfin la voûte ou le dôme est garni de cils vibratiles qui semblent n'être que l'étalement en surface des bandes des piliers.

Tous ces organes concourent à faire progresser l'animal, qui se dirige dans une position à peu près verticale, mais toujours la base de la pyramide en avant.

Tel est le proto-embryon sur lequel le jeune Échinoderme va se développer. Cependant, avant que l'Oursin nouveau apparaisse, certaines parties se développent encore. L'accroissement porte surtout alors sur le voile ou la marquise. Ce voile, avons-nous dit, est quadrangulaire, continu par son bord supérieur avec la face postérieure du proto-embryon, libre par ses trois autres bords, dont l'inférieur est échancré en arcade de façon à présenter deux sortes de bras ou d'appendices comparables à ceux de la voûte elle-même. C'est sur ces deux appendices latéraux, dont la charpente calcaire est une dépendance de la charpente générale primitive, que porte l'accroissement dont nous parlons. En même temps qu'ils s'allongent, deux autres appendices apparaissent sur le même bord inférieur de la marquise, en dedans des précédents, de sorte que le nombre des appendices buccaux est maintenant de quatre. Il naît pour ces deux nouveaux appendices une arcade calcaire distincte de l'appareil solide général.

Si à ce moment nous envisageons cet être dans son ensemble, il est évident qu'il est possible de le partager par un plan en deux parties parfaitement symétriques, et l'embryogénie des polypes nous a, l'an dernier, offert des exemples analogues d'asymétrie par rapport à un centre. Dès lors il nous est permis de conclure que l'observation n'a pas confirmée cette vue de von Baer fondant sur une *evolutio radiata*, c'est-à-dire sur un développement symétrique autour d'un axe ou d'un point central, l'établissement du grand groupe correspondant aux Radiaires de Cuvier. L'idée *à priori* tombe devant l'expérience et l'observation *à posteriori*.

Voilà donc une forme qui n'a aucune analogie avec la forme adulte de l'Oursin que nous avons étudiée. Voyons comment l'œuf produit et fécondé par l'Oursin est arrivé à cette forme intermédiaire; nous verrons ensuite comment l'Oursin se développe sur cet être de transition jusqu'à atteindre sa forme et son organisation définitives.

L'œuf de l'Oursin est primitivement sphérique : après le contact du spermatozoïde, la segmentation commence comme chez les autres animaux. Les cellules résultant de cette segmentation s'arrangent à la périphérie de manière à former une sphère creuse, mais les parois de cette sphère ne sont pas d'égale épaisseur; un pôle est plus épais que l'autre.

Ce pôle épais s'aplatit légèrement; en même temps l'œuf devient embryon, il se couvre de cils vibratiles.

Au point correspondant à l'aplatissement de la sphère, un léger enfoncement se produit, et peu à peu cet enfoncement devient un véritable cul-de-sac s'avançant vers l'intérieur de la sphère primitive, et s'élargissant par sa partie profonde de façon à ne plus communiquer avec l'extérieur que par une ouverture plus étroite. Pendant que ces changements se produisent, la sphère primitive devient de plus en plus cylindre. La cavité de ce cul-de-sac est l'origine de la cavité digestive, et l'orifice de communication avec l'extérieur est l'orifice qui sera plus tard l'anus.

De cylindrique le proto-embryon tend à prendre ces formes de pyramide quadrangulaire que nous connaissons. Le fond de la cavité digestive qui se développe se recourbe vers l'un des côtés de la larve et finit par se joindre à l'enveloppe de celle-ci.

Au point de jonction de la cavité et de l'enveloppe se produit un nouvel orifice, c'est la bouche. La forme de l'être nouveau tel que nous l'avons décrit, n'a plus alors qu'à se compléter pour arriver à ce moment où il va produire l'Oursin.

Müller compare à une horloge le proto-embryon au moment où apparaît sur sa surface le *disque échinodermique*. Cette horloge serait portée sur quatre pieds; la marquise ou l'appareil buccal qu'on aperçoit en arrière sous l'arcade de la face antérieure représenterait le balancier; enfin le disque échinodermique serait comparable au cadran. Seulement le cadran ne serait pas sur le devant de l'horloge, mais bien sur son côté droit.

C'est, en effet, sur la face latérale droite de la pyramide quadrangulaire que se montre un disque rond, plus transparent que le reste du tissu, partagé en cinq lobes rayonnant autour d'un centre; c'est le rudiment de l'Oursin.

Le *disque* ou *bouclier échinodermique* correspond au dos de l'Oursin, qui se développe au pôle anal. Sous ce disque se montrent une vésicule et un canal à orifice dorsal qui deviendront un organe tout particulier dont je vous parlerai à propos des Astérides.

Sur le bouclier apparaissent les pédicellaires et les ambulacres.

Dès lors, l'accroissement du disque et de la pyramide sur laquelle il s'est montré marche en sens inverse, si bien que l'atrophie de l'une est la conséquence de l'accroissement démesuré de l'autre. Cette marche inverse est si rapide que bientôt il ne reste plus que quelques rudiments de l'ancien animal ou du pro-embryon, adhérents à la face inférieure de l'Oursin.

En résumé, le développement de la *forme échinoïde* est secondaire. Il est précédé par une autre forme, forme *pré-embryonnaire*. Le développement de l'Oursin se fait par voie de bourgeonnement ou de blastogenèse sur un corps d'une durée transitoire. — L. Hallez.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE — NUMÉRO 48 — 27 OCTOBRE 1866

Paris, 26 octobre 1866.

L'Académie des sciences vient de recevoir un nouveau document relatif à la question si intéressante de l'antiquité de l'homme sur la terre. Ce sont deux os fossiles, provenant d'une tête humaine, un pariétal et un frontal, qui s'adaptent exactement l'un à l'autre, et qui ont appartenu, par conséquent, au même individu. Ces débris humains, dont une représentation très-précise a été mise sous les yeux de l'Académie par M. d'Archiac, ont été trouvés dans la partie supérieure du bassin du Rhin, en Alsace, au milieu d'une couche géologique qui porte le nom de *diluvium alpin*.

On a recueilli, au même endroit que ces débris, des os de cerfs, de bœufs d'*Élephas primigenius*, etc., qui établissent aussi bien l'âge de ce gisement que la nature de la couche elle-même. Enfin, les circonstances qui ont entouré cette découverte, minutieusement décrites dans la note présentée à l'Académie des sciences, semblent démontrer d'une manière péremptoire qu'on ne peut expliquer la présence de ces ossements humains dans des couches profondes par aucun remaniement postérieur du terrain qui les aurait amenés là d'une façon toute occasionnelle. Les habitants du pays établissent les fondations de leurs demeures dans le *diluvium alpin*, et comme cette couche présente une consistance assez ferme, ils y creusent, aux alentours de la cave placée sous la construction, des galeries qui n'exigent aucune maçonnerie ni aucun travail de soutènement, et qui leur servent de caves supplémentaires. C'est en creusant une galerie de ce genre qu'on a rencontré ces débris humains.

Suivant M. d'Archiac, les partisans de l'*Homme fossile* auraient trouvé dans ces fragments de crâne un argument de la plus haute valeur, car l'authenticité du gisement situé dans un terrain tout à fait vierge lui paraît incontestable et l'on sait que là est toujours le nœud de la question. Ainsi, c'est en s'appuyant sur des remaniements de terrain, plus ou moins discutés, il est vrai, que M. Élie de Beaumont a contesté l'authenticité et la force probante de la fameuse mâchoire de Moulin-Quignon découverte par M. Boucher de Perthes.

M. Terquem a envoyé à l'Académie la suite de ses laborieuses recherches sur les foraminifères fossiles. Avant les travaux de M. Terquem, le nombre des espèces de foraminifères connues ne s'élevait qu'à 25; il a porté ce nombre à 800, et cependant il n'a pas la fâcheuse tendance, trop fréquente chez les naturalistes de nos jours, à multiplier outre mesure les distinctions d'espèces qui surchargent et compliquent ainsi sans utilité les cadres de la classification; la direction de ses idées est toute contraire, car il réunit souvent dans une même espèce des variétés assez distinctes. Sur ces 800 espèces de foraminifères, M. Terquem en a déjà figuré 500 dans ses divers mémoires.

M. Velpeau présente, au nom de M. Courty, professeur à la Faculté de médecine de Montpellier, un ouvrage sur les maladies de l'utérus et de ses annexes. M. Velpeau signale particulièrement dans cet ouvrage les chapitres concernant la stérilité de la femme, qui, malheureusement, se muliplie de plus en plus parmi la population des villes, et l'extirpation de l'ovaire, opération devant laquelle les chirurgiens de Paris reculent le plus souvent, en la considérant comme trop dangereuse, mais qui est pratiquée d'une manière relativement fréquente en Angleterre, et avec laquelle on commence à se familiariser aussi en France, surtout depuis les remarquables travaux de M. Kœberlé, agrégé de la Faculté de médecine de Strasbourg, à qui elle a réussi dans l'immense majorité des cas. Les résultats obtenus par M. Courty à Montpellier sont presque aussi favorables.

Enfin M. Gaudin a lu un mémoire sur ses nouvelles recherches de morphogénie moléculaire dans lequel il expose la constitution harmonique de la molécule d'alun ammoniacale.

E. A.

ASSOCIATION POLYTECHNIQUE.

CONFÉRENCES DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS.

M. BOUCHARDAT

Président de l'Académie de médecine.

Du blé au point de vue de l'hygiène publique.

Mesdames, messieurs,

Je vais vous entretenir du blé au point de vue social. Vous trouverez peut-être que c'est par pur esprit de controverse que je viens vous parler des maux qui suivent l'augmentation du prix du blé, dans un moment où une grande partie de la

Digitized by Google

France agricole est émue des plaintes, fondées, je le reconnais tout d'abord, d'un grand nombre de fermiers et de propriétaires qui ne trouvent pas dans la vente de leurs grains un prix suffisamment rémunérateur. *De la gêne, pas assez d'argent* : c'est là, selon moi, la formule qu'il faut adopter, car elle est la vraie, au lieu de parler des *souffrances de l'agriculture*. Je ne dois pas vous dissimuler que c'est cette expression qui m'a suggéré la pensée de cette conférence. J'ai tenu à mettre en lumière cette vérité que les souffrances, celles qui atteignent la masse de la population laborieuse, n'apparaissent que lorsque le prix du blé est excessif ou seulement trop élevé.

J'ai toujours été habitué à me réjouir lorsque la terre était couverte de riches moissons, et que les greniers regorgeaient de grains, et comme on l'a si heureusement dit, quand il y a une belle récolte, la joie règne dans les campagnes; tout le monde y est heureux. L'abondance n'afflige personne. Si l'agriculteur vend un peu moins cher son blé, il en a beaucoup plus à vendre. Il a d'ailleurs des ouvriers à nourrir et il ne perd pas à les nourrir à bon marché.

Quand, comme l'an passé, nous voyons, nous autres vignerons, d'innombrables grappes mûrir à point sur les vignes qui embellisent nos coteaux, nous ne calculons pas si les vins qui sont dans nos celliers vont baisser de prix; l'ouvrier en boira à meilleur compte, et nos vendanges s'exécutent dans l'allégresse.

Vous me direz encore à quoi bon nous entretenir du déficit des subsistances, quand nous avons de tout plus qu'il n'en faut. Réservez vos études pour des temps moins heureux!

A cela, je répondrai :

C'est pendant les temps d'abondance qu'il convient de parler de la cherté des subsistances. Ventre affamé n'a pas d'oreilles, comme vous savez; et je pourrais ajouter, n'a pas de raison. Il n'est pas besoin de vous rappeler à quels excès se sont livrées les populations égarées sur des malheureux qui n'étaient que soupçonnés d'accaparement. Ce ne sont pas seulement les masses ameutées qui ont eu recours à ces exécutions sommaires. Des administrateurs de l'ordre le plus élevé, chargés, il est vrai dans des temps de disette et d'émotion publique, de veiller à la sécurité de tous, décidèrent, sans enquête, que c'est une peine trop légère d'avoir saisi les grains et l'attelage de trois citoyens qui transportaient le blé la nuit.

Ils ajoutent. Ces mesures ne sont pas suffisantes, il faut qu'un exemple terrible apprenne, à ces continuels violateurs des lois, qu'ils payeront de *leurs têtes* leurs manœuvres criminelles! Et cette décision est signée d'un nom respecté.

DROITS DE L'HOMME.

ÉGALITÉ, LIBERTÉ, LA RÉPUBLIQUE OU LA MORT.

Mont-Adour, ci-devant Saint-Sever, le 21 germinal, 2me année de la République française une et indivisible.

L'Agent national près le district de Mont-Adour, aux Citoyens PINET *et* CAVAIGNAC, *Représentans du Peuple.*

Je vous adresse, Citoyens Représentans, l'arrêté que l'administration de mon district a pris contre les nommés Joseph et Pierre Monsegur frères, habitans de la commune de Lacajunte, canton de Geaune, et Comot, de la commune d'Arsac, département des Basses-Pyrénées, tous trois convaincus d'infraction grave à la loi du 11 septembre et à vos arrêtés sur le rescensement et réquisition des grains.

Ce ne sont pas les seuls réfractaires à votre arrêté du 4 germinal, que nous avons fait arrêter et traduire à la maison d'arrêt de Mont-Adour; les municipalités elles-mêmes, qui veulent enfin agir, nous les ont dénoncés, en nous faisant passer les procès-verbaux de leurs découvertes. Je redoublerai de zele pour les maintenir dans la marche révolutionnaire qu'elles commencent à suivre, et il ne tiendra pas à moi qu'elles ne se prononcent de jour en jour plus fierement pour concourir, par l'exécution sévere des loix, au salut du peuple, qu'elles avoient jusqu'ici méconnu.

Salut et fraternité.

Signé, DUBOURG.

Bayonne, le 26 Germinal, l'an 2 de la République française une et indivisible.

Les Représentans du Peuple, près l'armée des Pyrénées occidentales et les départemens environnans.

Aux Citoyens Administrateurs du district de Mont-Adour.

Nous venons de recevoir, Citoyens, la lettre de l'Agent national de votre district, du 21 de ce mois, et le verbal que vous avez dressé, à l'occasion d'une infraction grave commise par trois individus, contre les dispositions de notre arrêté du 4 de ce mois. Nous approuvons les diverses mesures que vous avez prises à cet égard, l'arrestation des coupables, la confiscation des grains cachés, et des bêtes de sommes servant à leurs transports; mais ces mesures-là ne sont pas suffisantes, il faut qu'un exemple terrible apprenne à ces continuels violateurs des loix, à ces hommes coupables dont la conduite est toujours en opposition avec ce que le bien public exige, qu'ils payeront de leurs têtes leurs manœuvres criminelles.

L'article 7 de notre arrêté du 4 de ce mois porte la peine de mort contre tout individu, Autorités constituées, etc. qui ne se seront pas conformés aux dispositions des articles 3, 4 et 5. Les hommes arrêtés par vous ont évidemment violé ces dispositions; ils ne l'ont pas fait par ignorance, l'arrêté leur étoit suffisamment connu; la peine portée par ledit arrêté doit donc leur être appliquée, elle le sera; en conséquence, nous vous ordonnons de faire transférer sur le champ, dans la maison d'arrêt de Bayonne, pour être traduits devant la Commission extraordinaire les nommés Joseph et Pierre Monsegur freres, de la commune de Lacajunte, canton de Geaune, et Comot, de la commune d'Arzac.

Vous ferez également traduire devant la même Commission, tous ceux qui se rendront coupables des mêmes délits. Ce n'est que par des moyens de sévérité terrible que nous enchaînerons la malveillance.

Salut et fraternité.

Signés, PINET aîné, CAVAIGNAC.

Vous voyez à quelles extrémités on peut être conduit dans ces temps de disette, et combien il importe d'aborder dans un temps heureux de telles discussions.

Importance attachée par tous les gouvernements forts et avancés à la question des subsistances.

L'*Égypte*, comme l'histoire et les monuments nous l'apprennent, a traversé une longue période de prospérité et de civilisation avancée, pendant laquelle une nombreuse population couvrait son sol proverbialement fertile. La grande affaire des administrateurs de ce pays si florissant, c'était d'assurer la subsistance du peuple. La dynastie des Pharaons a dû principalement sa grandeur et sa durée à sa continuelle prévoyance pour obtenir ce résultat capital : *la vie assurée pour tous*.

Les divers États de la *Grèce* ont à l'envi rivalisé, pour réglementer tout ce qui se rapportait à la question des céréales. Dans certains moments, l'exportation des grains hors du territoire de l'Attique était prohibée sous peine d'exécration et de bannissement.

Quand on interroge l'histoire des campagnes lointaines accomplies par de grandes armées romaines, si instructive au point de vue de l'hygiène, on ne sait ce qu'on doit le plus admirer, de cette éducation militaire si parfaite des légions, ou de cette prévoyance des grands capitaines, pour amasser, transporter les provisions, pour assurer la subsistance vrai-

Digitized by Google

ment hygiénique de ces masses d'hommes. Les *Commentaires de César* contiennent sur ce sujet de précieuses indications.

Lorsque Rome est devenue le cœur du monde connu, que de soins, que de soucis pour alimenter cette immense population! Après les débats sur le pouvoir, la question du blé fut la première dans les préoccupations des empereurs. Tacite, Tite-Live, Suétone, témoignent de cette sollicitude. Les auteurs modernes qui ont le mieux réussi à nous représenter la vie intime des Romains (1), nous ont fait connaître les efforts inouïs et souvent impuissants auxquels l'administration a été forcée pour parer à l'insuffisance des récoltes.

Toutes ces grandes mesures de prévoyance furent, sinon abandonnées, au moins fort souvent négligées pendant le *moyen âge;* aussi, que de désastres, dont je vais, dans un instant, vous présenter l'esquisse.

Des famines fréquentes, avec leurs terribles conséquences de pestes effroyables. Vous avez tous entendu parler de cette peste noire qui enleva le tiers de la population de l'Europe? Elle fut précédée par une longue famine.

Avant d'arriver au temps présent, je veux cependant vous citer les efforts de Charlemagne pour assurer l'alimentation de ses peuples nombreux, et les grandes difficultés que la question du blé fit planer sur les premières années de la République, et qui contribuèrent plus qu'on ne pense, à empêcher son affermissement.

Les *Capitulaires* de Charlemagne sur les subsistances sont un monument de prévoyance à citer. Nourrir ses peuples a été pour ce grand homme une affaire aussi importante que celle de fonder son empire.

J'arrive aux embarras sans nombre contre lesquels ont eu à lutter les fondateurs de notre grande République à propos des subsistances.

J'emprunterai toutes mes citations au rapport de M. Leplay au conseil d'État sur le commerce du blé, de la farine et du pain : œuvre remarquable à tous les titres, qui me servira plus d'une fois dans ces études.

Voici d'abord pour l'achat des grains :

Le 9-14 mars 1792. — Décret allouant de nouveaux secours aux départements à raison de la cherté des grains. Une somme de 10 millions, suppléant à l'insuffisance de celle de 12 millions accordée les 26 septembre, 2 octobre 1791, est mise à la disposition du ministre de l'intérieur, pour subvenir aux besoins des départements qui réclament des secours. — Les grains doivent être achetés à l'étranger et introduits par les ports voisins des contrées où les besoins se font sentir. — Les grains seront vendus par les municipalités sur les marchés, en concurrence avec ceux du commerce. — Comptes des opérations de transport, de magasinage et de vente à remettre par les municipalités aux directoires de district, puis aux directoires de département, au ministre de l'intérieur et à l'Assemblée nationale.

Le système d'achat des grains à l'étranger par le gouvernement est encore adopté par le décret du 4 septembre 1792 qui accorde une somme de 12 millions pour cet objet, et par ceux des 1er et 3 février 1793, allouant 25 millions.

Les embarras toujours croissant conduisent à des mesures extrêmes sur la portée desquelles on ne saurait trop méditer. Citons deux décrets des 5 et 6 décembre 1792, tendant à assurer l'approvisionnement de Paris :

La gendarmerie sera envoyée sur toutes les routes aboutissant à Paris, à l'effet d'arrêter toutes personnes qui s'opposeraient à l'arrivée des subsistances. — Toutes personnes ainsi arrêtées en flagrant délit, leurs émissaires, fauteurs et adhérents, seront *punis de mort.*

Poursuivant ce même système, la Convention rend, le 8 et 10 décembre 1792, un décret prohibant l'exportation et tendant à assurer la libre circulation des grains à l'intérieur. En voici les clauses principales :

Exportation des grains et légumes secs interdite sous *peine de mort* et de confiscation. — Sont punis de mort ceux qui entravent la libre circulation des grains à l'intérieur. — Sont responsables de toutes pertes éprouvées par défaut de réquisition ou de secours, les corps administratifs, le juge de paix, le chef de la force armée des communes où les dommages ont été commis. — La Convention nationale enverra une instruction sur la nécessité de la libre circulation et du libre commerce des grains. Cette instruction sera envoyée dans les villes, dans les armées, dans les hôpitaux, dans les colléges, dans les écoles et aux municipalités de campagne, pour être lue au prône.

Nous arrivons maintenant au régime réglementaire des subsistances qui, poussant au delà des limites du possible, l'immixtion administrative dans les transactions particulières, introduisit dans toutes les communes de la France le trouble et une inexprimable surexcitation. Voici les principales dispositions de ce régime commercial connu sous le nom de *système du maximum.*

Obligations imposées : au marchand, cultivateur ou propriétaire quelconque de grains ou farines, de déclarer à la municipalité du lieu la quantité de ces denrées qu'il possède; aux municipalités, de vérifier ces déclarations, au besoin à l'aide de visites domiciliaires, et d'en transmettre le résultat aux directoires de district, qui le feront passer à leur tour au directoire du département; au directoire de département, de dresser, avec le tout, un tableau général, qui sera adressé au ministre de l'intérieur et à la Convention. — Interdiction aux détenteurs de grains de les vendre ailleurs que sur les marchés, si ce n'est aux citoyens munis d'un certificat de la municipalité énonçant la quantité qui peut être livrée. — Droit pour les corps administratifs de requérir des détenteurs les grains nécessaires à l'approvisionnement des marchés, et de faire battre, par réquisition, les grains en gerbes, en cas de refus des propriétaires. — Autorisation donnée au ministre de l'intérieur et au comité de salut public, de prendre par voie de réquisition, dans les départements ayant un excédant, les grains nécessaires pour approvisionner ceux qui ont un déficit. — Obligation imposée aux marchands en gros de ne transporter les grains que sous la surveillance et avec la permission des autorités. — Maximum du prix de grains fixé, d'abord pour le mois de mai 1793, au prix moyen des quatre mois précédents, puis décroissant par réductions successives sur les prix antérieurs : au 1er juin, d'un dixième; au 1er juillet, d'un vingtième; au 1er août, d'un trentième, et enfin, au 1er septembre, d'un quarantième. — Confiscation des grains et amende de 300 à 1000 livres imposées au vendeur et à l'acheteur en cas de ventes au-dessus du maximum; récompense de 1000 livres sur les biens des contrevenants accordée au dénonciateur. — Responsabilité imposée aux municipalités touchant l'exécution des lois contre l'exportation des grains et farines.

Voici enfin la loi des 26 et 28 juillet 1793 sur les accapareurs. Toutes les dispositions de cette loi montrent à quel degré d'angoisse était parvenu le comité de salut public et la majorité de la convention à propos de cette question des subsistances.

L'accaparement est un crime capital. — L'accaparement consiste à retirer de la circulation des marchandises de première nécessité, et à les enfermer dans un lieu quelconque, sans les mettre en vente journellement et publiquement. — L'accaparement consiste également à faire périr ou à laisser périr volontairement ces mêmes marchandises. Les marchandises de première nécessité sont : le pain, la viande, le vin, les grains, les farines, les légumes, les fruits, le beurre, le vinaigre, le cidre, l'eau-de-vie, le charbon, le suif, le bois, l'huile, la soude, le savon, les sels, les viandes et poissons secs, fumés, salés ou mariués, le miel, le sucre, le chanvre, le papier, les laines ouvrées et non ouvrées, les cuirs, le fer et l'acier, le cuivre, les draps, la toile et généralement toutes les étoffes, ainsi que les matières premières qui servent à leur fabrication, les soieries exceptées. — Dans les huit jours qui suivront la publication de la présente loi, les personnes possédant des

(1) Dezobry, *Rome au temps d'Auguste;* Dureau de Lamalle, *Économie politique des Romains.*

Digitized by Google

dépôts des marchandises ci-dessus désignées seront tenues d'en faire la déclaration à la municipalité qui fera vérifier ce dépôt. — La vérification du dépôt étant finie, le propriétaire sera tenu, ou d'en commencer, dans les trois jours, la vente en petits lots, à tout venant, et de la continuer sans interruption, sous l'inspection d'un commissaire spécial, ou de confier à cette municipalité le soin d'effectuer cette vente. — Dans ce dernier cas, la vente sera faite par petits lots par un commissaire délégué, de manière à assurer, s'il est possible, un bénéfice au propriétaire; la vente immédiate n'en aurait pas moins lieu, néanmoins, si, le propriétaire ayant acheté les objets à un prix trop élevé, ce bénéfice ne pouvait être obtenu. — Huit jours après la promulgation de la présente loi, ceux qui, possédant des dépôts des marchandises désignées, n'auront pas fait la déclaration prescrite, seront réputés accapareurs et, comme tels, punis de mort; leurs biens seront confisqués, et les marchandises qui en feront partie seront immédiatement mises en vente. Les fonctionnaires publics et les commissaires chargés des vérifications ou des ventes, qui seraient convaincus d'avoir favorisé les accapareurs, seront également punis de mort. — Les marchands en gros ou en détail, connus pour avoir des magasins ouverts aux acheteurs, seront également tenus, dans les huit jours, de mettre à l'extérieur de chacun de ces magasins une inscription annonçant le nom du propriétaire, la nature et la quantité des marchandises déposées. Les fabricants seront obligés de faire la même déclaration pour les matières premières qu'ils ont dans leurs ateliers, et d'en justifier l'emploi. Faute de remplir cette obligation, les uns et les autres seront réputés accapareurs. — Les fournisseurs des armées ayant à déclarer de tels dépôts produiront, en même temps, les marchés qu'ils ont passés avec la République. S'il était prouvé que ces dépôts ont une importance hors de proportion avec la teneur des marchés, ou qu'ils ne sont pas destinés aux armées, ceux qui les ont établis seraient traités comme accapareurs. — Le produit de la vente des marchandises confisquées aux accapareurs sera attribué : un tiers aux dénonciateurs, un tiers aux citoyens indigents du lieu, un tiers à la République. Dans le cas où des marchandises auraient été détruites volontairement, une gratification convenable sera attribuée aux dénonciateurs. — Les jugements rendus par les tribunaux criminels, en vertu de la présente loi, seront sans appel.

Je passe un grand nombre de décrets et ordonnances qui ont paru dans les six derniers mois de 1793 et dans les premiers de 1794, pour arriver au décret du 24 décembre 1794, *abolissant le système du maximum.*

Toutes les lois portant fixation d'un maximum sur le prix des marchandises sont abolies à dater de la présente loi. — Pratique des réquisitions maintenue seulement, selon les cas, pendant un délai d'un ou de deux mois. — Droit de préemption substitué à la réquisition, pour compléter, jusqu'à la récolte prochaine, l'approvisionnement des armées. — Libre circulation des grains rétablie, sauf dans la zone, large de deux lieues, adjacente aux frontières. — L'interdiction d'exporter à l'étranger est maintenue; les contrevenants seront condamnés à la peine de mort. — En aucun cas, les chevaux et voitures employés aux transports illicites ne pourront être confisqués; ceux qui ont été confisqués antérieurement, s'ils ne sont pas vendus, seront rendus aux propriétaires. — Les procédures commencées pour contraventions aux lois sur le maximum sont anéanties; il ne sera point donné suite aux jugements non encore exécutés, rendus sur cet objet; les citoyens détenus en vertu de ces jugements seront mis en liberté sans délai.

Citons encore le décret du 15 mars 1795, rendu à la suite d'un rapport à la Convention, présenté au nom du comité de salut public par Boissy d'Anglas.

La distribution du pain continue à se faire par les boulangers, sur les cartes délivrées aux citoyens par les sections. — Chaque citoyen vivant du travail de ses mains reçoit une livre et demie de pain; tous les autres, quels que soient l'âge et le sexe, reçoivent une livre. — La distribution a lieu sous la surveillance de commissaires nommés par chaque section, et renouvelés par tiers chaque décade.

Si quelque citoyen, disait Boissy d'Anglas en terminant son rapport, se permettait quelque plainte à ce sujet, blâmait cette mesure de justice, nous lui rappellerions le régime sous lequel il vivait il y a un an, et qui était tel, que, sous peine d'être mis à mort comme accapareur, nul ne pouvait avoir chez lui aucune espèce de comestibles, aucun légume, aucun moyen d'approvisionnement, et nous lui dirions : Comparez !

Nous dirons aussi, comparez notre temps à ces époques calamiteuses, et voyez si vous pouvez donner le nom de souffrance, à une gêne passagère causée par l'abondance!

Après le retour d'années plus heureuses, en 1801, une hausse subite du prix du blé de 23 fr. 34 à 26 fr. 67 l'hectolitre attira vivement l'attention du premier consul.

Dans sa pensée, l'intérêt politique exigeait impérieusement que l'on fît en sorte que non-seulement le pain ne pût jamais manquer à Paris, mais encore qu'il s'y maintînt à un taux modéré; il croyait d'ailleurs que le prix du pain dans cette ville devait être le régulateur des cours du blé et de la farine sur le marché, et que, conséquemment, empêcher les boulangers d'augmenter la valeur de leur produit, c'était obliger indirectement les commerçants en farine et en blé à réduire leurs prétentions.

Le premier consul fut secondé dans ses travaux sur l'organisation de la boulangerie par son habile préfet de police, M. Dubois.

Le système de la compensation des prix extrêmes du pain était même dans la pensée de M. Dubois; seulement, il croyait, avec le Premier Consul, que cette compensation devait être opérée par la boulangerie même, devenue assez forte pour faire, aux époques de cherté, des avances qu'on lui laisserait recouvrer en temps d'abondance et de bas prix.

Un mot sur la quotité des secours et leur mode de distribution à Paris, pendant les deux dernières disettes.

Pendant la disette de 1846-1847 qui affligea si cruellement le nord de l'Europe, et sur laquelle nous aurons à revenir :

Pendant une période de 11 mois, de novembre 1846 à octobre 1847, des bons de différence, au nombre total de 33 234 800, ont été distribués à un nombre moyen de 95 117 indigents et de 299 387 malaisés: la dépense totale, y compris 194 373 francs de frais d'administration supportés par la ville de Paris, s'éleva à 9 millions.

La disette de 1853 à 1856 dura 36 mois, de septembre 1853 à septembre 1856.

La caisse de la boulangerie, au moyen d'emprunts contractés avec la garantie de la ville de Paris et du département de la Seine, a avancé à la population tout entière, sous forme de réduction du prix du pain, une somme d'environ 64 millions. Elle a en outre distribué aux indigents, par l'intermédiaire de l'administration de l'assistance publique, sous forme de bons de différence, une somme de 2 558 891 francs, y compris 179 003 francs de frais d'administration.

Cette somme considérable a été heureusement remboursée à l'aide du système de compensation sur lequel nous aurons à revenir.

Grâces à ces efforts de la municipalité parisienne, la disette de 1846-1847, qui eut de si cruelles conséquences pour une grande partie de l'Europe, comme nous l'établirons plus loin, et celles de 1853 à 1855 qui se prolongea si longtemps, n'exercèrent pas chez nous d'influence désastreuse sur le mouvement de la population. Il faut rechercher les causes de cette immunité dans nos cultures variées, dans notre forte organisation sociale, qui donne de la sécurité aux transactions, dans le développement progressif de la navigation à vapeur, et de notre admirable réseau de chemins de fer. Les progrès merveilleux de l'industrie rendent pour cette question des subsistances des services dont on ne saurait trop admirer l'étendue.

Après cette introduction où j'ai eu pour but de vous montrer que le problème d'assurer des subsistances a toujours été un des premiers dans les préoccupations d'un gouvernement fortement organisé, je vais vous dire les résultats de mes études sur la grande question du prix du blé; mais avant de le faire, je désire vous exposer avec tous les détails nécessaires, les recherches entreprises par divers savants *sur les subsistances envisagées dans leurs rapports avec les maladies et*

Digitized by Google

la mortalité, d'après des documents se rapportant au XVIIIe et au XIXe siècle.

Je ferai précéder cette étude d'un rapide historique des effets généraux des disettes, dans les siècles antérieurs au XVIIIe.

Je distingue ainsi trois périodes dans notre histoire sociale des subsistances.

La première, celle des famines.

La seconde, celle des disettes.

La troisième, celle des chertés.

Période des famines.

Dans les siècles antérieurs au XVIIIe siècle, l'augmentation du prix des subsistances est surtout caractérisée par la fréquence des famines avec leurs désastreuses conséquences; je vais me borner à citer quelques exemples, et en laissant de côté les premiers siècles de notre ère.

Dans le VIIIe siècle, on éprouva en Europe de longues et cruelles famines; les historiens citent celle de 739, qui fut ressentie surtout en Angleterre, et celles de 776, 779, 793, 794, qui s'appesantirent sur toute l'Europe.

Elles furent nombreuses et très-sévères dans le IXe siècle; en 821, 843, les habitants mêlaient de la terre à la farine. Cette coutume de tromper la faim a été suivie à bien des reprises en Chine quand cette populeuse contrée endura des famines. En 845, 861, 868, les privations alimentaires furent telles qu'on mangea des cadavres; en 874, la famine fut suivie d'une peste qui enleva le tiers des habitants de l'Europe.

Les historiens ont compté dix famines principales en France dans le Xe siècle.

Dans le XIe siècle, toutes les parties de l'Europe endurèrent, ou ensemble ou séparément, de dures famines; on en compte 26 au moins.

Les années 1006, 1007 et suivantes furent calamiteuses; au premier chef; on recherchait, pour les dévorer, les animaux qui présentent le plus de répugnance, et qui cependant, avec de l'art, offriraient de précieuses ressources.

En 1021 commença une nouvelle série d'années calamiteuses qui dura sept ou huit ans; en 1203, les Russes, attribuant ces malheurs aux conjurations magiques de certaines vieilles femmes, les égorgèrent en grand nombre; en 1030, dans quelques contrées de la France, il se trouva des hommes qui arrêtaient les voyageurs, non pour les voler, mais pour les manger.

En 1042 et 1043, les récoltes ne furent point en rapport avec les besoins, mais c'est de 1053 à 1059 que les famines furent si persistantes et si cruelles, qu'elles furent comparées aux sept années désastreuses de l'Égypte. La famine désola encore l'Europe en 1094 et 1096.

Dans le XIIe siècle, les famines furent moins nombreuses en Europe, mais leurs ravages furent encore considérables en 1101, 1108 et 1125; dans cette dernière année, les affamés dévoraient les cadavres. En Angleterre, les calamités de la peste et de la faim furent plus grandes que dans le reste de l'Europe. En 1197, la Grande-Bretagne fut pour ainsi dire dépeuplée. Pendant le XIVe siècle, on compte d'effroyables famines pendant rudement lesquelles l'Angleterre eut encore à souffrir; on cite surtout les années 1314, 1315, 1316.

Pendant cette dernière année, le parlement taxa les subsistances. C'est une mesure très-comparable à la loi du maximum de notre première révolution. A dater de 1334, les disettes se renouvelèrent presque sans interruption pendant plus de vingt ans.

Dans le XVe siècle, la France fut cruellement atteinte par les famines, suites de guerres continuelles.

En 1420, on entendait dans Paris de petits enfants crier sur le fumier, *je meurs de faim!* Ils dévoraient ce que les pourceaux ne touchaient pas.

En 1437, 1438, on endura encore des famines très-meurtrières; les loups venaient enlever dans l'enceinte de la ville les cadavres abandonnés. En 1481, 1483, régnèrent des famines suivies d'épidémie.

Le XVIIe siècle est loin d'avoir été épargné; en 1601, 1602, 1603, il y eut d'horribles famines en Russie, et, pour citer un exemple, 120 000 habitants périrent de faim dans la seule ville de Moscou.

En 1632 et les années suivantes, la Lorraine fut tellement ravagée par la guerre et la famine, que la population, réfugiée dans les bois, retomba dans la plus affreuse barbarie.

On cite encore dans ce siècle les famines de 1632, de 1669, et celle de 1693, qui sévit principalement sur la France.

Période des disettes.

Laissons cette triste période des famines pour arriver à celle des disettes.

Nous pouvons apprécier plus rigoureusement l'influence du prix des subsistances sur la mortalité, parce que nous possédons pour cette période des documents statistiques d'une grande valeur.

Je vous entretiendrai successivement des travaux de Messance, de John Barton, de M. Mélier et de M. Ch. Dupin, qui se rapportent aux XVIIIe et XIXe siècles.

Il y a cent ans, un auteur recommandable, Messance, étudia les rapports qui existent entre le prix du blé et la mortalité; il prouva, par des chiffres puisés dans les registres des communes et des paroisses, l'influence considérable du prix du blé sur le nombre des décès. Son ouvrage parut en 1766, sous le titre : *Recherches sur la population*. Paris, in-4°.

Les recherches de Messance embrassent une période de 90 ans, de 1674 à 1764; elles ont trait principalement à la ville de Paris, mais elles s'étendent aussi aux principales villes de France et de l'Angleterre.

Je vais reproduire ici les tableaux qui se rapportent à Paris, à Londres, et au mouvement de la population de l'Hôtel-Dieu de Paris.

Voici comment Messance a procédé pour former son tableau. Il prend un nombre déterminé d'années, il en fait deux parts, la première, celles de ces années qui ont offert le plus de décès, la seconde, celles qui en ont offert le moins.

Il inscrit, comme on le voit, les unes et les autres sur deux colonnes séparées, à côté et en regard desquelles se trouve le prix du blé.

Ces tableaux présentent très-nettement le rapport de la mortalité avec le prix des grains.

Digitized by Google

TABLEAUX *comparatifs de la mortalité de Paris, avec le prix des grains, depuis* 1724 *jusques et compris* 1763.

(La première moitié de chaque tableau contient les années qui ont offert le plus grand nombre de décès; la seconde moitié, celles qui en ont offert le moins. — Les petits tableaux (n° 3, 6) présentent des années *extrêmes*, choisies dans le grand tableau placé immédiatement au-dessus.

N° 1.

ANNÉES.	NOMBRE des morts.	PRIX du setier de blé, mes. de Paris.	ANNÉES.	NOMBRE des morts.	PRIX du setier de blé, mes. de Paris.
		Livr. S. Den.			Livr. S. Den.
1724	19 719	24 17 »	1725	18 039	34 4 »
1727	19 100	19 1 3	1726	19 022	29 » 6
1729	19 852	16 12 »	1728	16 887	13 6 3
1731	20 832	19 10 »	1730	17 452	16 1 3
1738	19 581	17 16 3	1732	17 532	14 6 3
1739	21 986	20 7 6	1733	17 466	11 17 6
1740	25 284	25 12 6	1734	15 122	12 2 6
1741	23 574	37 » «	1735	16 196	12 16 3
1742	22 784	21 7 6	1736	18 900	14 3 »
1743	19 033	12 16 3	1737	18 678	14 16 9
Totaux.	211 745	215 » 3	Totaux.	175 294	172 14 3
M. ann.	21 174	21 10 »	M. ann.	17 529	17 5 5

N° 2.

1748	19 526	19 15 »	1744	16 205	11 15 »
1749	18 607	18 12 6	1745	17 322	12 1 3
1753	21 716	20 3 9	1746	18 051	14 17 6
1754	21 724	19 5 »	1747	18 158	15 10 6
1755	20 021	14 16 3	1750	18 084	18 » »
1757	20 120	22 » »	1751	16 673	19 13 9
1758	19 202	18 17 6	1752	17 762	24 15 »
1760	18 531	19 16 6	1756	17 236	16 3 9
1762	19 751	16 1 3	1759	18 446	20 » »
1763	19 937	15 17 6	1761	17 493	15 18 »
Totaux.	199 135	185 5 »	Totaux.	175 430	168 14 9
M. ann.	19 913	18 10 6	M. ann.	17 543	16 17 6

N° 3.

1753	21 716	20 3 9	1744	16 205	11 15 »
1754	21 724	19 5 »	1745	17 322	12 1 3
1755	20 021	14 16 3	1751	16 673	19 13 9
1757	20 120	22 » »	1756	17 236	16 3 9
Totaux.	83 581	76 5 »	Totaux.	67 436	59 13 9
M. ann.	20 895	19 1 3	M. ann.	16 859	14 18 5

On voit par le tableau n° 1, relatif à la ville de Paris, que sur 20 années qu'il embrasse (de 1724 à 1743), les 10 plus meurtrières ont donné chacune, terme moyen, 21 174 décès; tandis que les 10 autres, ou les moins meurtrières, n'en ont donné, année commune, que 17 529; c'est-à-dire 3 645 de moins par an, soit 17 pour 100 ou 1/6e environ.

Or, dans les 10 années chargées en décès, le blé avait valu, en moyenne, 21 liv. 10 sous le setier, tandis que dans les 10 années où il y avait eu moins de décès il ne s'était vendu que 17 liv. 5 sous 5 den., c'est-à-dire 4 liv. 5 sous moins cher.

Les résultats du tableau 2, qui comprend aussi une période de 20 années (de 1744 à 1763), ne sont pas moins remarquables.

Le tableau 3 comprend 8 années choisies parmi les années du tableau précédent, savoir : d'une part, les 4 plus meurtrières; d'autre part, les 4 qui l'ont été le moins. Ce sont, de part et d'autre, des années extrêmes. Les différences étant plus grandes, le rapport de la mortalité au prix du blé est encore plus tranché. Ainsi les 4 années de la première colonne, de la colonne de grande cherté, ont donné, terme moyen, chacune près de 21 000 décès (20 895), tandis que les 4 années de la seconde colonne, de la colonne du plus bas prix, n'en ont donné, année moyenne, que 16 059, c'est-à-dire 4036 de moins ou environ 1/5e par an.

Or, le prix du blé pendant les années meurtrières était de 19 liv. 1 sou 2 den. le setier, et seulement les 14 liv. 18 sous 5 den. pendant les 4 autres.

En séparant les années de cherté extrême et celles de bon marché, les résultats deviennent plus évidents. Toujours la cherté a eu pour résultat d'exagérer la mortalité, et toujours la mort a moins atteint d'individus dans les années d'abondance; en comparant 4 années d'abondance à 4 années de disette, les résultats sont des plus nets.

TABLEAUX *comparatifs de la mortalité de Londres, avec le prix des grains, depuis* 1714 *jusques et compris* 1754.

N° 4.

ANNÉES.	NOMBRE des morts.	PRIX DU QUARTER DE BLÉ, mesure de Londres. MONNAIE d'Anglet.	MONNAIE de France.	ANNÉES.	NOMBRE des morts.	PRIX DU QUARTER DE BLÉ, mesure de Londres. MONNAIE d'Anglet.	MONNAIE de France.
		L. st. Sc.	L. S. D.			L. st. Sc.	L. S. D.
1714	26 569	2 10 4	56 12 6	1715	22 232	2 3 »	48 7 6
1718	26 523	1 18 10	43 13 9	1716	24 436	2 8 »	54 » »
1719	28 347	1 15 »	39 7 6	1717	23 446	2 5 8	51 7 6
1723	29 197	1 14 8	39 » »	1720	25 454	1 17 »	41 12 6
1726	29 647	2 6 »	51 15 »	1721	26 142	1 17 6	42 3 9
1727	28 418	2 2 »	47 5 »	1722	25 750	1 16 »	40 10 «
1728	27 810	2 14 »	60 15 »	1724	25 952	1 17 »	41 12 6
1729	29 722	2 6 10	52 13 9	1725	25 523	2 8 6	54 11 3
1730	26 761	1 16 6	41 1 3	1731	25 262	1 12 10	36 18 9
1733	29 233	1 8 4	31 17 6	1732	23 358	1 6 8	50 » »
Tot.	282 227	20 12 6	404 1 3	Tot.	247 555	19 12 2	441 3 9
M. an.	28 222	2 1 3	46 8 1	M. an.	24 755	1 19 3	44 2 4

N° 5.

1734	26 062	1 18 10	43 13 9	1735	23 538	2 3 »	48 7 6
1736	27 581	2 » 4	45 7 6	1739	25 432	1 18 6	43 6 3
1737	27 823	1 18 »	42 15 »	1743	25 200	1 5 4	28 10 »
1738	25 825	1 15 6	39 18 9	1744	20 606	1 11 6	35 8 9
1740	30 811	2 7 »	52 17 6	1745	21 296	1 5 9	28 19 4
1741	32 169	2 4 11	50 10 7	1748	23 869	1 16 3	40 15 7
1742	27 483	1 12 6	36 » »	1750	23 727	1 12 6	36 11 3
1746	28 157	1 18 6	43 6 3	1751	21 028	1 16 5	40 19 4
1747	25 494	1 18 6	43 6 3	1752	20 485	1 17 9	42 9 4
1749	25 516	1 15 8	40 2 6	1753	19 276	1 17 2	41 16 3
Tot.	276 921	19 9 3	437 18 1	Tot.	224 457	17 4 2	387 3 7
M. an.	27 692	1 19 »	43 15 9	M. an.	22 445	1 14 5	38 14 4

N° 6.

1736	27 581	2 » 4	45 7 6	1744	20 606	1 11 6	35 8 9
1737	27 823	1 18 »	42 15 »	1745	21 296	1 5 9	28 19 4
1740	30 811	2 7 »	52 17 6	1751	21 028	1 16 5	40 19 4
1741	32 169	2 4 11	50 10 7	1752	20 485	1 17 9	42 9 4
Tot.	118 384	8 10 3	191 10 7	Tot.	83 415	6 11 5	147 16 9
M. an.	29 596	2 12 6	47 17 6	M. an.	20 853	1 12 10	36 19 2

Ces tableaux, rédigés absolument sur le même plan que ceux de Paris, conduisent au même résultat.

Mortalité plus grande avec le prix des blés plus élevés.

Digitized by Google

Mortalité moindre avec les bas prix.

Comme pour Paris, en prenant des deux parts les années extrêmes, les résultats, comme on le voit dans les petits tableaux, s'accentuent davantage.

TABLEAUX *comparatifs du nombre des malades et de la mortalité de l'Hôtel-Dieu de Paris, avec le prix des grains.*

N° 1.

ANNÉES.	NOMBRE des malades.	NOMBRE des morts.	PRIX du setier de blé, mesure de Paris.			ANNÉES.	NOMBRE des malades.	NOMBRE des morts.	PRIX du setier de blé, mesure de Paris.		
			Livr.	S.	Den.				Livr.	S.	Den.
1725	21 315	4 662	34	4	»	1724	20 391	5 317	24	17	»
1726	23 414	5 253	29	»	6	1727	20 898	4 666	19	1	3
1729	22 703	5 150	16	12	»	1728	19 015	3 928	13	6	3
1731	22 511	5 000	19	10	»	1730	19 574	3 933	16	1	3
1732	23 148	4 311	14	6	3	1733	19 238	3 716	11	17	6
1736	21 015	4 221	14	3	»	1734	16 849	3 148	12	2	6
1739	25 926	5 837	20	7	6	1735	18 521	5 767	12	16	3
1740	27 088	7 894	25	12	6	1737	20 791	4 843	14	16	9
1741	27 361	7 191	37	»	»	1738	20 284	5 158	17	16	3
1742	23 944	5 893	12	16	3	1743	77 335	4 064	12	16	3
Tot.	238 425	55 418	223	12	»	Tot.	192 896	42 540	155	11	3
M. an.	23 842	5 542	22	7	2	M. an.	19 289	4 254	15	11	1

N° 2.

1739	25 926	5 837	20	7	6	1728	19 015	3 928	13	6	3
1740	27 088	7 894	25	12	6	1734	16 849	3 148	12	2	6
1741	27 361	7 191	37	»	»	1735	18 521	3 767	12	16	3
1742	23 944	5 893	21	7	6	1743	17 335	4 064	12	16	3
Tot.	104 319	26 815	104	7	6	Tot.	71 720	14 907	51	1	3
M. an.	26 080	6 704	26	1	11	M. an.	17 930	3 727	12	15	4

N° 3.

1749	21 082	4 281	18	12	6	1744	15 819	3 543	11	15	»
1752	22 519	4 505	24	15	»	1745	16 654	3 688	12	1	3
1753	24 379	5 292	20	3	9	1746	17 728	4 208	14	17	6
1754	22 554	5 442	19	5	»	1747	17 958	4 261	15	10	6
1757	21 112	4 674	22	»	»	1748	19 691	4 794	19	15	»
1759	21 085	4 384	20	»	»	1750	20 590	4 559	18	»	»
1760	23 417	4 911	19	16	3	1751	19 672	4 026	19	13	9
1761	21 719	4 652	15	18	»	1755	20 367	4 858	14	16	3
1762	21 219	4 917	16	1	3	1756	19 487	4 042	16	3	9
1763	24 438	5 352	15	17	6	1758	20 430	4 652	18	17	6
Tot.	233 521	48 410	192	9	3	Tot.	188 396	42 631	161	10	6
M. an.	22 352	4 841	19	4	11	M. an.	18 839	4 263	16	3	»

N° 4.

1753	24 376	5 292	20	3	9	1744	15 819	3 543	11	15	»
1754	22 554	5 442	19	5	»	1745	16 654	3 688	12	1	»
1760	23 417	4 911	19	16	3	1746	17 728	4 208	14	17	»
1763	24 438	4 917	15	17	6	1747	17 959	4 261	15	10	»
Tot.	94 785	20 562	75	2	6	Tot.	68 160	15 700	54	3	»
M. an.	23 696	5 140	18	15	7	M. an.	17 040	3 925	13	10	9

Ces tableaux offrent des résultats identiques avec ceux obtenus pour les villes de Paris et de Londres.

Le nombre des entrées, le nombre des décès, augmentent avec le prix du blé. Le nombre des entrées et celui des décès diminuent avec les bas prix.

Les tableaux dans lesquels les années extrêmes d'abondance ou de cherté ont été comparées présentent des résultats plus démonstratifs, comme on le voit dans les petits tableaux.

Comme conclusion de son beau travail, Messance en a déduit la loi qu'on peut énoncer ainsi : *Toutes les fois que le prix du blé augmente, la mortalité devient plus forte et réciproquement.*

Des études semblables ont été faites sur 17 districts manufacturiers de l'Angleterre, par John Barton.

TABLEAU *du prix du blé comparé aux décès. — Extrait de John Barton (Observations on the condition of the labouring classes)* cité par J. B. Say, t. II, p. 383.

ANNÉES.	PRIX MOYEN DU BLÉ par quarter.		NOMBRE des décédés.
	Shelling.	Den.	
1801	118	3	55 965
1804	60	1	44 794
1807	73	3	48 108
1810	106	2	54 864

Ces nombres, recueillis dans les années de guerre 1801 à 1810, confirment la loi de Messance.

Cependant John Barton est arrivé à un résultat nouveau, sur lequel nous aurons à revenir. C'est que les années extrêmes pour les bas prix tendent aussi à augmenter le chiffre moyen de la mortalité.

M. Charles Dupin a étudié l'influence du prix des grains sur la population française. (C. Dupin, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. III, p. 585.)

Mais au lieu de comparer simplement les décès au prix du grain, il fait entrer dans son étude des éléments nouveaux, il établit un calcul d'une fonction composée des naissances, des mariages et des décès, pour exprimer la vitalité nationale. (C. Dupin, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. III, p. 591.)

Voici la conclusion pratique du travail de M. Dupin.

Il paraît plus avantageux au bien-être du peuple en général, que les prix des grains oscillent entrent les prix intermédiaires de 1 franc de plus et de 1 à 2 francs de moins que 18 francs l'hectolitre de froment. (C. Dupin, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. III, p. 592.)

Nous verrons plus loin, en agissant sur un plus grand nombre d'années, et en faisant intervenir des considérations nouvelles, empruntées à nos études hygiéniques, comment cette condition doit être modifiée.

M. Mélier, dans ses études sur les subsistances envisagées dans leurs rapports avec les maladies et la mortalité, mémoire imprimé dans le t. X des *Mémoires de l'Academie de médecine*, s'occupe aussi de la France en général, et de Paris en particulier.

Je ne reproduis ici que son premier *Tableau comparatif du prix du blé et la mortalité pour la France entière* de 1801 à 1810.

Digitized by Google

TABLEAUX *comparatifs du prix du blé et de la mortalité, pour toute la France.*

N° 1. (De 1801 à 1810.)

ANNÉES.	HAUT PRIX. Prix de l'hectol.	HAUT PRIX. Décès.	ANNÉES.	BAS PRIX. Prix de l'hectol.	BAS PRIX. Décès.
	Fr. c.			Fr. c.	
1801	22 40	761 813	1806	19 33	781 827
1802	24 32	772 058	1807	18 88	803 174
1803	24 55	881 892	1808	16 54	773 773
1804	19 19	897 734	1809	14 86	748 655
1805	19 04	833 436	1810	19 61	730 282
Totaux.	109 50	4 146 933	Totaux.	89 22	3 837 711
Moy. ann.	21 90	829 387	Moy. ann.	17 84	767 542

N° 2. (De 1826 à 1835.)

1828	22 03	837 516	1826	15 85	837 610
1829	22 59	802 624	1827	18 21	791 565
1830	22 39	808 400	1833	16 62	812 478
1831	22 10	800 430	1834	15 25	918 020
1832	21 85	933 800	1835	15 25	816 413
Totaux.	110 96	4 182 770	Totaux.	81 18	4 176 086
Moy. ann.	22 19	836 554	Moy. ann.	16 24	835 217

Ce tableau, dit M. Mélier, présente, pour 10 années *consécutives*, de 1801 à 1810, le prix du blé en regard du nombre des décès. Dans les 5 premières années, où la moyenne du prix du froment fut de 22 fr. l'hectolitre (21 fr. 90 c.), il y eut, année moyenne, 827 387 décès pour toute la France (1). Dans les 5 années suivantes, où la moyenne du froment ne fut que de 17 fr. 84 c., c'est-à-dire environ 4 fr. moins cher, il n'y eut, en moyenne, que 767 542 décès par année, ou environ 62 000 de moins (61 845), différence réelle sans doute et encore très-importante, mais déjà beaucoup moindre que du temps de Messance, puisque, rapportée au chiffre des décès de la France totale, elle n'est que de 7 pour 100, ou 1/15e environ, tandis que cette différence, comme on l'a vu, s'est élevée pour certains tableaux de Messance, à 19 pour 100 ou 1/5e.

A partir de cette époque, c'est-à-dire de 1810, la différence est de moins en moins marquée; elle disparaît même en quelque sorte complétement quand on embrasse ainsi la France entière.

Voici le résultat général des études de M. Mélier pour la France entière. La mortalité est en rapport avec le prix du blé, mais à mesure qu'on avance dans le XIXe siècle, la différence de la mortalité diminue. Son excédant dans les années de cherté est de moins en moins marqué.

Période des chertés.

Complétant avec des nombres rigoureux les travaux de Messance, j'ai voulu, en continuant le travail de M. Mélier, grouper et comparer les éléments principaux de cette grande question du blé au point de vue social. Ils sont réunis dans le tableau suivant (voy. en face, p. 785) :

(1) Outre la cherté du blé, je soupçonne que d'autres causes, qui ne sont pas exactement connues, ont concouru à augmenter le nombre des décès dans ces années-là. Cette remarque s'applique particulièrement à la mortalité de Paris, pour l'année 1803, dont le chiffre, de 25, 71, l'emporte de beaucoup sur les autres années.

Je suis parti de 1817, car c'est seulement de cette année que nous avons des documents précis sur le mouvement de la population, grâce aux travaux si persévérants du vénéré M. Mathieu (*Annuaire du bureau des longitudes*) qui, depuis plus de vingt-cinq ans, s'est dévoué à cette étude.

Mon tableau comprend : 1° le nombre d'hectares ensemencés chez nous en froment; 2° le nombre d'hectolitres de blé récoltés; 3° le produit par hectare; 4° les importations du froment, épeautre, méteil et farines, évaluées en hectolitres de grain; 5° le prix moyen annuel du froment pour toute la France; 6° le total des naissances; 7° le total des décès; 8° l'augmentation de la population; 9° les mariages.

En étudiant tous les nombres qui sont groupés dans ce tableau, on peut apprécier très-nettement l'influence du prix du blé sur le mouvement de la population dans notre siècle.

Voici les conclusions principales auxquelles j'ai été conduit par l'étude attentive de tous les éléments qui interviennent dans ce tableau, et qui se rapportent au mouvement de la population.

J'ai fait abstraction, dans la mesure qui convient, des épidémies cholériques qui, en 1832, 49, 53 et 54, ont ravagé la France, et des années de guerre de Crimée et d'Italie; j'ai eu égard aussi à l'augmentation progressive de la population par accroissement régulier et par l'annexion. Voici les lois que j'en déduis, avec les réserves que commandent les difficultés d'un pareil sujet :

1° Toutes choses égales, les mariages sont d'autant plus nombreux que le blé est meilleur marché;

2° Les naissances diminuent dans les années qui suivent les années de cherté, les conscrits sont en nombre moindre vingt ans après, conséquence naturelle de la diminution des naissances.

3° Dans les années de cherté excessive, toutes choses égales, la mortalité augmente, les naissances et les mariages diminuent.

Voici des nombres que je cite dans mes cours d'hygiène, qui mettent en évidence cette loi :

Pour le Wurtemberg.

	Naissances.	Décès.	Mariages.
Moyenne de 1815 à 1829..	57 750	43 400	10 078
1817 (an. de dis.).	47 816	50 680	8 200

Pour la France.

	1846.	1847 disette.
Naissances.....	983 473	918 581
Décès.....	731 498	856 026
Mariages.....	270 633	249 797

4° Le chiffre de la mortalité des années de cherté excessive et moyenne s'étend sur les années qui suivent cette cherté. Ce résultat s'accentue davantage quand les années de disette se succèdent.

Nos études sur la misère donnent une interprétation très-nette de cette dernière loi; les scrofules, les tubercules, naissent sous l'influence de la continuité de la misère. (Voyez, *Mémoire sur l'étiologie de la tuberculisation, Annuaire thérapeutique*, 1861 (Supplément.) Voyez aussi mon travail *Sur la misère*, que je publierai prochainement. Plus on poursuit dans ses détails ce grave sujet, plus on est convaincu que la privation des choses nécessaires à la vie dans une famille est la

Digitized by Google

Du blé, de sa production et de son prix moyen annuel dans ses rapports avec le mouvement de la population pour toute la France dans le XIX*e siècle.*

ANNÉES.	NOMBRE d'hectares ensemencés en froment.	NOMBRE d'hectolitres de blé récoltés.	PRODUIT moyen par hectare.	IMPORTATION du froment, épeautre, méteil, farines, évalués en hectolitres de grains.	PRIX moyen annuel du froment pour toute la France	TOTAL des décès.	TOTAL des naissances.	AUGMENTATION de la population.	MARIAGES.
			Hectol.		Fr. Cent.				
1817					36 16	748 223	944 125	195 902	205 244
1818					24 65	751 907	913 855	161 948	212 979
1819					18 42	788 055	987 918	199 863	215 088
1820	4 683 788	44 347 720	9,46		19 13	770 706	958 933	188 227	208 893
1821	4 753 079	58 219 268	12,25	609 479	17 79	751 214	963 358	212 144	221 868
1822	4 797 810	50 856 707	10,60	976	15 59	774 162	972 796	198 634	247 495
1823	4 854 816	58 676 862	12,08	1 240	17 52	742 735	964 021	221 286	262 020
1824	4 884 232	61 788 972	12,65	1 257	16 22	763 606	984 152	220 546	231 680
1825	4 854 169	61 035 177	12,57	950 663	15 74	798 012	973 986	175 974	243 674
1826	4 895 088	59 631 917	12,18	90 004	15 85	835 658	993 191	157 533	247 194
1827	4 902 981	56 785 944	11,58	66 426	18 21	791 125	980 196	189 071	255 738
1828	4 948 130	58 823 512	11,80	1 172 188	22 03	837 145	976 547	139 402	246 839
1829	5 024 488	64 285 521	12,79	1 728 944	22 59	803 453	964 527	161 074	248 796
1830	5 011 704	52 782 008	10,53	2 063 203	22 39	809 830	967 824	157 994	270 900
1831	5 111 155	56 429 694	11,04	1 142 726	22 10	802 761	986 709	183 948	246 438
1832	5 159 759	80 089 016	15,52	4 475 738	21 85	933 733	938 186	4 453 (1)	242 041
1833	5 242 779	66 073 141	12,60	501 374	16 62	812 548	969 983	157 435	264 061
1834	5 302 748	61 981 226	11,68	458	15 25	917 828	986 490	68 662	271 222
1835	5 338 043	71 697 484	13,43	463	15 25	816 413	993 833	177 420	275 008
1836	5 284 807	63 583 725	12,03	220 507	17 32	771 700	979 820	208 120	274 145
1837	5 407 868	67 915 534	12,56	285 140	18 53	878 701	943 349	64 648	266 554
1838	5 460 749	67 743 571	12,41	100 758	19 51	846 199	961 476	115 277	273 174
1839	5 384 288	64 079 532	11,90	1 179 343	22 14	780 600	957 740	177 140	266 890
1840	5 531 782	80 880 411	14,62	2 247 186	21 84	816 486	952 318	135 832	281 998
1841	5 562 668	71 463 681	12,67	156 370	18 54	804 762	976 929	172 167	283 902
1842	5 576 110	71 314 220	12,79	562 904	19 55	836 152	982 896	146 744	280 412
1843	5 664 105	73 650 509	13,00	2 025 235	20 46	811 435	983 107	171 672	285 399
1844	5 679 337	82 454 845	14,52	2 475 723	19 75	776 526	967 324	190 798	279 667
1845	5 743 135	71 963 280	12,53	749 075	19 75	754 701	992 033	237 332	284 286
1846	5 936 908	60 696 968	10,23	4 919 489	24 05	831 498	983 473	151 975	270 633
1847	5 979 311	97 611 140	16,32	9 157 943	29 01	856 026	918 581	62 555	249 797
1848	5 973 377	87 994 435	14,73	1 250 837	16 65	844 158	948 748	104 590	292 977
1849	5 966 153	90 761 712	15,21	4 520	15 37	982 008	995 466	13 458 (1)	278 644
1850	5 951 384	87 986 788	14,78	857	14 32	775 653	962 972	187 319	297 657
1851	5 999 376	85 986 232	14,33	102 549	14 48	817 449	979 907	162 458	286 984
1852	6 090 049	86 065 386	14,13	267 991	17 23	810 695	965 080	154 385	281 360
1853	6 210 605	63 709 638	10,26	4 811 532	22 39	795 596	936 967	141 371 (1)	280 609
1854	6 408 238	97 194 271	15,17	5 635 613	28 82	992 779	923 461	69 318 (2)	270 906
1855	6 419 330	72 936 726	11,36	3 704 718	29 32	936 833	899 559	37 274 (2)	283 846
1856	6 468 236	85 308 953	13,19	8 854 256	30 75	837 082	952 116	115 036	284 401
1857	6 593 530	110 426 462	16,75	3 895 397	24 37	858 785	940 709	81 924	295 510
1858	6 639 000	109 989 000	16,56	1 913 866	16 75	874 023	967 894	93 871	307 056
1859	6 709 000	87 595 000	13,01	1 400 849	16 74	979 333	1 017 896	38 563	298 417
1860	6 711 000	101 573 000	15,13	728 858	20 24	781 635	956 875	175 240	288 936
1861	6 750 000	75 116 000	11,12	12 907 558	24 55	866 597	1 005 078	138 481	305 203
1862	6 881 000	99 192 000	14,43	5 931 610	23 24	812 978	995 167	182 189	303 514
1863	6 915 000	110 781 000	16,88	2 328 867	19 78				
1864	6 889 000	111 874 000	16,48	766 111	17 58				
1865		95 831 000	13,85	66 312					

(1) Années pendant lesquelles le choléra exerça ses ravages; il faut y joindre 1854.
(2) Ces nombres représentent la diminution de la population en 1854 et 1855.

Digitized by Google

grande cause de la genèse de la scrofule et de la tuberculose chez les enfants, et de la mortalité excessive dans les années qui suivent ces privations.

Ne pas faire entrer en ligne de compte ces données capitales, c'est négliger un des éléments les plus importants de ce grand problème du mouvement des populations en rapport avec le prix des subsistances.

J'ai déjà étudié (*Thèse sur l'alimentation insuffisante*), l'influence de la cherté du blé sur les pauvres familles, et j'ai démontré que le prix élevé du pain impose souvent les plus rudes privations. Je vais citer ce passage :

Examinons d'abord ce qui arrive dans la famille de l'ouvrier quand il survient une augmentation dans le prix des subsistances. Admettons qu'elle soit composée de cinq personnes, et que chacune d'elles consomme 500 grammes de pain par jour ; une augmentation de 5 centimes dans le prix du pain accroît la dépense de 91 fr. 75 cent. par an : somme énorme pour une pauvre famille qui vit du travail de son chef. Pour compenser ce déficit, il faut s'imposer de nouvelles fatigues et diminuer sur la qualité et quelquefois sur la quantité même d'aliments indispensables.

En temps ordinaire, la dépense la plus forte de l'ouvrier est celle de la nourriture ; elle s'élève communément, dit M. Villermé (*Tableau de l'état physique et moral des ouvriers employés dans les manufactures de coton, de laine et de soie*, t. II, p. 21), pour un homme, à plus de la moitié de la dépense totale ; elle atteint la moitié, rarement plus des deux tiers pour une femme, et pour un adolescent elle arrive aux trois quarts. Très-souvent le père, à cause de ses habitudes de cabaret, dépense autant à lui seul que tous les autres.

Quand il reste si peu de choses pour le logement, l'habillement et les autres dépenses, il est difficile, lorsqu'arrivent les événements malheureux, dont peu de ménages sont exempts, de ne point réduire encore l'alimentation, et de toucher bientôt à cette limite qui la rend insuffisante et conduit à la maladie.

Les lois auxquelles j'ai été conduit par la comparaison des nombres compris dans mon grand tableau relatif à l'influence du prix du blé sur le mouvement de la population, ces lois avaient été entrevues et même énoncées par les auteurs qui m'ont précédé dans cette étude. Je vais encore citer ma thèse sur l'*Alimentation insuffisante*.

Une remarque intéressante à faire, qui ressort de l'étude des tableaux de Messance et de ceux de M. Mélier, c'est que l'effet de l'enchérissement du blé ne se fait pas toujours sentir dès la même année, mais bien l'année suivante. Il est un autre rapprochement fort curieux, dû à M. Louis Millot. Étudiant les années de cherté, les disettes, dans leurs conséquences éloignées, il fait voir que leur influence dépopulatrice se retrouve d'une façon très-marquée, *à vingt ans de là*, sur les jeunes gens appelés au tirage pour le recrutement. L'*année vigésimale*, correspondante à une année de disette, présente toujours un déficit plus ou moins marqué ; telle fut l'année 1837 qui répond à l'année 1817 : on constate pour cette année un déficit considérable ; et, chose remarquable, ce déficit, qui varie, selon les départements, entre 5 pour 100 et 17 pour 100, est partout en rapport avec le prix du blé, c'est-à-dire plus grand là où le blé fut plus cher vingt ans auparavant, moins grand dans les lieux où son prix fut plus modéré.

Influence de l'alimentation insuffisante sur les conceptions et les naissances. — Les résultats que M. Millot a fait connaître pouvaient être prévus facilement en consultant les recherches antérieures de M. Villermé (*De la distribution par mois des conceptions et des naissances de l'homme. Annales d'hygiène*, t. V, p. 55). « Quand une moisson, dit-il, a généralement manqué dans le pays, la cherté du pain, la difficulté de se le procurer, y rend une partie de la population très-misérable, surtout pendant les mois qui précèdent la moisson suivante.

» C'est justement, dans la période des huit années dont j'ai examiné les résultats pour la France entière, ce qui est arrivé une fois par suite de la mauvaise récolte de 1816. Aussi trouve-t-on, par les naissances de 1817 et de 1818, qu'il y a eu, proportion gardée, bien moins d'enfants conçus, depuis novembre 1816 jusques et compris septembre 1817, principalement pendant les mois d'avril, mai, juin et juillet, que dans les autres années. Ce résultat est frappant, surtout pour les départements du Bas et du Haut-Rhin, de la Moselle, de la Meurthe, de la Meuse, de l'Aisne, du Nord, de l'Ain, etc., qui sont ceux où l'on a éprouvé une véritable disette. C'est au point que, dans plusieurs de ces départements, les derniers mois que je viens de nommer, qui comptent toujours le plus grand nombre des conceptions, n'en ont eu, en 1817, que le *minimum*, et que l'on voit les naissances diminuer chaque mois, à dater de février 1817, jusqu'à février, mars et même avril 1818, et augmenter ensuite chaque mois pendant tout le reste de cette dernière année.

» Les naissances dans les communes rurales de tout le royaume des Pays-Bas montrent évidemment la même chose ou à peu près, tandis que pour les villes, l'influence de la disette de 1816 et 1817 a été bien moins marquée.

» Ces résultats sont d'ailleurs d'accord avec l'observation de tous les temps et de tous les lieux, qui prouve que la disette produit la stérilité non-seulement pour les hommes, mais aussi pour les animaux. »

J'ai également, dans mes leçons *Sur la misère*, cherché à remonter aux causes qui, pendant les famines, augmentent le chiffre de la mortalité, en déterminant la genèse des maladies caractéristiques de ces grandes privations. Je n'ai pas à y revenir ici.

Avant de rechercher les causes et les remèdes des disettes, il est bon de me résumer et d'apprécier les transformations opérées par les progrès de la civilisation sur le prix du blé dans ses rapports avec le mouvement de la population.

Nous avons, comme on l'a vu, divisé nos études en trois périodes :

La *période des famines* ou des raretés excessives, caractérisée par des mortalités considérables qui, dans quelques cas, semblent de véritables dépopulations. Barbarie, imprévoyance, oppression, guerres continuelles : voilà le caractère de cette période.

J'ai désigné la seconde phase sous le nom de *période des disettes ;* difficultés des communications, entraves locales, administration oppressive, en voilà le caractère moral, qui se traduit par une mortalité parallèle au prix des grains.

Dans la *troisième période*, commence l'ère de la liberté commerciale, des communications plus faciles; je la nomme *période des chertés*. L'excès de mortalité est moins évident dans l'année où le prix du blé s'élève, mais cette mortalité s'étend sur les années suivantes.

La loi finale qui ressort de la comparaison attentive de tous ces faits est celle-ci :

« *L'augmentation du prix du blé coïncide avec l'aggravation des maladies et l'augmentation du nombre des décès.* »

Ce sont là de vrais maux, qui se montrent à la suite des prix élevés du blé ; à côté d'eux, il ne faut point parler des souffrances que peut faire naître l'abaissement du prix, quand ces souffrances ont pour caractéristique principale : *diminution des maladies, diminution de la mortalité.* L'hygiène, s'appuyant sur des bases scientifiques, conduit à cette conclusion : *Le pain à bon marché avec des salaires suffisants.*

Reconnaissons avec tous les auteurs qui, de nos jours, ont agité ces graves questions, que de notre temps les chances des famines ont considérablement diminué, et que, plus nous avançons, moins nous aurons à les redouter. Ces bienfaits, nous les devons à la liberté commerciale qui tend à tout régulariser, à la fixité d'un droit très-minime qui permet aux puissants spéculateurs de s'engager sans crainte de ruine dans de vastes opérations, qui ont pour résultat d'abaisser le prix du pain dans les pays où les récoltes ont faibli. Nous le devons aussi à la rapidité des communications sur mer et sur les voies ferrées. Avec notre navigation commerciale à vapeur, qui, depuis quelques années, s'est élevée, grâce à l'initiative d'hommes de génie, à un si haut degré de puissance, on peut

Digitized by Google

acheter des subsistances dans les contrées les plus lointaines et les plus opposées. Par un heureux contraste qui s'est vérifié à bien des reprises quand les récoltes ont été mauvaises en Amérique, l'abondance a été grande dans les provinces de la Russie qui expédient au port d'Odessa. Nous dirigeons ainsi nos expéditions soit en Orient, soit en Occident, suivant que l'une ou l'autre partie du monde a été favorisée.

Ne nous endormons pas cependant dans une trompeuse sécurité; n'oublions pas que les besoins de l'Angleterre en blé peuvent être énormes, que Londres est le grand marché régulateur des prix, et qu'il ne faut pas nous exposer à passer sous les fourches caudines de la faim. Redoublons d'efforts pour n'être pas conduits à une position dépendant des autres nations dans cette grande question des subsistances. Profitons des leçons du passé. Le large emploi de la pomme de terre dans notre Europe avait donné aux économistes une fausse sécurité que j'avais partagée dans un de mes premiers écrits. Le réveil a été cruel; la maladie de la pomme de terre a été la cause de cette désastreuse famine de 1847 qui, en Irlande et dans le nord de l'Europe, *a enlevé un million d'hommes*. D'autres causes que nous allons chercher à découvrir pourraient conduire à des désastres qui seront évités si l'on sait les prévoir et les prévenir.

Des causes des disettes.

L'insuffisance des récoltes peut être déterminée par des années pluvieuses et aussi par des années trop sèches; dans ces deux cas, mais surtout dans le premier, la quantité des matières alimentaires est presque toujours diminuée par des parasites de toutes sortes, parmi lesquels il faut citer en première ligne ces moisissures qui ont si souvent détruit les récoltes des pommes de terre, et altéré celle des céréales. Après les moisissures, un des grands fléaux des années pluvieuses, c'est la coulure, car c'est surtout à l'époque de la floraison des céréales qu'ont régné des pluies continuelles dans ces années désastreuses. La sécheresse continue pendant le printemps et l'été, si elle est favorable au vignoble, amoindrit la récolte du blé, réduit presque à rien celle des menus grains, des racines et des tubercules.

Cette insuffisance des récoltes, par une des causes que je viens d'énumérer ou par d'autres, s'est montrée en France à des époques pour ainsi dire régulières et qui semblent liées à des influences climatériques non encore étudiées. M. le comte A. Hugo a insisté sur cette régularité dans un mémoire imprimé en mars 1853, intitulé : *Sur la période de disette qui menace la France*. Je vais citer l'introduction de ce travail :

Le songe expliqué par Joseph renferme une vérité éternelle. Toujours les vaches grasses sont dévorées par les vaches maigres; aux années d'abondance succèdent toujours des années de disette.

L'observation avait-elle déjà fait reconnaître aux patriarches hébreux ou aux prêtres égyptiens, dont Joseph, pendant sa captivité, a pu recevoir les leçons, cette grande loi de la nature? Leur avait-elle indiqué la règle permanente qui fixe le retour et la succession de ces époques alternativement heureuses et malheureuses pour les peuples? Nous l'ignorons.

Mais il est certain que l'étude des faits statistiques relatifs aux céréales, qui se sont produits en France depuis trente-sept ans, peut suffire à constater et à déterminer en quelque sorte la durée, et par conséquent la réapparition des périodes composées uniquement de bonnes années, ainsi que celles des périodes où les mauvaises années se suivent sans interruption.

Si cette durée était septennale en Égypte, elle paraît être quinquennale ou tout au plus de six ans en France.

Il est donc possible de prévoir les époques d'abondance et les époques de disette.

En effet, l'examen comparatif de la production et de la consommation, des importations et des exportations de froment en France depuis 1816, par le commerce *spécial*, prouve que les années de disette succèdent régulièrement aux années d'abondance par périodes de plusieurs années.

On ne voit pas les bonnes années alterner *une à une* avec les mauvaises, ou, en d'autres termes, une année d'abondance suivre une année de disette, à laquelle succède une année d'abondance suivie à son tour d'une année de disette.

L'abondance et la disette n'alternent entre elles que par périodes de cinq ou six années au plus.

La prévision de M. A. Hugo a été parfaitement vérifiée; en effet, les prix qui étaient en 1852, de 17,23, se sont élevés en 1853, à 22,39; en 1854, à 28,82; en 1855, à 29,32; en 1856, à 30,55.

Le déficit des bras agricoles est encore une grande cause de disette; il s'est fait surtout sentir dans notre Europe à la fin de ces longues guerres qui ont enlevé aux travaux des champs la partie vraiment active de la population. Voici la succession habituelle des fléaux de l'humanité : la guerre, la famine et la peste.

Ces effroyables désastres seront moins à redouter, il faut l'espérer au moins, dans notre Europe civilisée. Si les nations sont encore condamnées à se faire la guerre, ces guerres ne dureront plus trente ans.

Une des grandes causes du déficit des bras agricoles, c'est l'impulsion, heureuse à tant de titres, donnée aux travaux des villes ou des chemins de fer. On crée ainsi une foule de consommateurs énergiques qui ne produisent pas de subsistances, mais qui consacrent leurs forces vives à d'autres branches utiles. Au lieu de producteurs, on a des consommateurs de pain blanc, auxquels il faudra penser quand viendra la période d'insuffisance.

Parmi les causes les plus puissantes des disettes, il faut noter l'emploi insuffisant et mal étudié des engrais, et le mauvais aménagement des eaux.

Le vrai moyen de prévenir les famines, c'est de faire produire le blé au meilleur marché possible par les agriculteurs nationaux; c'est aussi le plus sûr procédé pour éloigner la gêne qui quelquefois marche à la suite de certaines années d'abondance. Il faut, pour atteindre ce but, encourager les travaux agricoles; mais des difficultés sans nombre se rencontrent à chaque pas.

La plus grande, c'est d'animer le travail particulier par un sagace emploi de la fortune publique. Quand on consacre 10 millions à jeter bas des maisons dans un riche quartier de Paris, on est sûr de créer pour 100 millions de travail par les efforts particuliers. Les sommes destinées aux améliorations agricoles ne produisent bien souvent qu'un effet isolé. Quoi qu'il en soit, c'est dans cette direction que doivent se porter les vues des hommes de l'avenir.

Étudions maintenant avec quelques détails les moyens de prévenir les disettes et les famines.

Des moyens de prévenir les disettes.

Le premier moyen pour conduire à la production économique des subsistances, et qui réclame un large emploi de la puissance publique, c'est un judicieux aménagement des eaux; leur excès ou leur insuffisance, voilà les grands obstacles agricoles.

Digitized by Google

Le gouvernement l'a bien compris, et les efforts qu'il a faits pour encourager les travaux de drainage témoignent de cette prévoyance; malheureusement ses bonnes intentions n'ont pu être fécondées pour un ensemble de raisons que je ne puis développer ici.

Les travaux pour prévenir les maux de la sécheresse exigent encore un ensemble de mesures qu'on ne peut confier à l'initiative des particuliers. Le principe est celui-ci : retenir pour les besoins les eaux pluviales qui tombent en excès dans un moment donné et qui font défaut aux époques où elles seraient le plus nécessaire. C'est pour concourir à ce but qu'on a encouragé le reboisement des crêtes dénudées. Voilà sans doute une grande et bonne mesure, mais qui ne suffit pas. Développer les cultures telles que celles des vignes permanentes avec fosses et tranchées, rien n'est plus efficace pour donner de la perméabilité au sol, pour maintenir les eaux sur les hauteurs et assurer la permanence du débit des sources. Rendre obligatoires les fossés entourant les pièces de terre d'une certaine étendue; exiger une construction convenable, une profondeur suffisante pour retenir l'eau et la terre entraînée; confier cette surveillance au corps des agents voyers des communes qui, en recevant une organisation plus forte, pourraient devenir de véritables ingénieurs agricoles. Voilà des mesures qui, mises en activité sur toute la surface agricole, maintiendraient l'eau où elle serait utile, et mettraient un obstacle efficace à ce prélèvement de la partie la plus précieuse de la terre végétale, par les pluies abondantes et aux désastres des inondations. Joignez à cela, comme cela a été fait avec tant de succès, la construction dans les parties les plus élevées d'immenses réservoirs destinés à contenir les eaux en excès, à ne les laisser écouler que lorsque leur intervention est salutaire, et favoriser du même coup ces belles entreprises de pisciculture; et vous aurez rendu à l'agriculture de grands et durables services.

Épargner la force en effectuant les transports des subsistances, des amendements et des engrais d'une façon plus économique et plus facile : voilà ce qu'il convient de perfectionner. Mais disons-le, depuis quarante ans, que d'heureux efforts la puissance publique n'a-t-elle pas fait dans cette direction! Les canaux, les chemins de fer, sillonnent aujourd'hui des contrées jadis impénétrables; partout, on a ouvert des routes merveilleusement entretenues; les conseils généraux, les communes, ont rivalisé d'ardeur, pour établir et tenir convenablement les routes de grande communication et les chemins vicinaux. Il ne faut pas s'arrêter. C'est là vraiment un des premiers besoins de l'agriculture; on a fait beaucoup, mais il reste encore plus à faire.

Pour cultiver convenablement la terre, deux choses sont nécessaires, des bras et de l'argent; il faut s'efforcer de conserver le plus possible aux champs ces deux moteurs.

La classification du recrutement de l'armée en première levée, destinée au service actif, et en réserve laissée aux travaux des champs pendant la plus grande partie de l'année, les congés semestriels donnés à l'époque des labours, l'emploi du soldat aux moissons, voilà d'heureux efforts dans cette direction; mais combien on pourra faire mieux quand la famille européenne sera constituée démocratiquement.

Pour exécuter de grandes choses, il faut de gros impôts; mais combien de sources de revenus publics pourraient être ouvertes, qui permettraient de dégrever les champs, et par conséquent de *diminuer le prix de revient du blé!* Il suffit pour cela d'appliquer prudemment et avec fermeté le principe de Vauban, que tout ce qui apporte profit doit tribut.

Avec des engrais et des amendements convenablement employés, on peut, avec un travail à peine supérieur, décupler les récoltes. Combien doit être grande la vigilance du gouvernement pour favoriser tout ce qui peut développer dans une telle mesure la production nationale! Un mot, un seul sur notre législation douanière. Ne convient-il pas d'affranchir de toute espèce de droit l'importation du guano et tous les engrais de cet ordre. Partisan de la liberté commerciale, je suis cependant convaincu que tant qu'il n'existera pas une réciprocité absolue, on ne peut permettre l'exportation des tourteaux, des débris de corne, de lainage et de tous les engrais riches! Dans toutes les transactions avec les compagnies de chemins de fer, le gouvernement doit penser toujours à assurer *le plus bas prix possible* au transport des engrais et amendements. Dans toutes ses relations avec les administrations communales, ne doit-il pas faire des efforts pour mettre des entraves au gaspillage des plus riches engrais dans la plupart de nos grands centres de population.

Je viens d'indiquer rapidement les moyens principaux que je regarde comme étant les plus efficaces pour abaisser le prix de revient du blé; poursuivant un autre ordre d'idées, je vais rechercher quelles sont les mesures les plus certaines pour prévenir le retour des famines ou des disettes, ou du moins pour en amoindrir les rigueurs.

Le principe de la variété des cultures doit être placé en première ligne; les Chinois l'ont bien compris, car, à côté de leur immense production de riz, se place une culture maraîchère qui s'est emparée, sur la plus large échelle, d'un grand nombre de plantes susceptibles d'être utilisées pour l'alimentation de l'homme. Chez nous, si, depuis le commencement du siècle, nous avons enduré des disettes dont les suites ont été beaucoup moins funestes qu'en Belgique ou dans le nord de l'Allemagne, c'est qu'à côté des céréales se trouve la culture de la vigne, qui joue un grand rôle dans notre alimentation, directement et indirectement. Dans la Belgique, l'Allemagne du nord, l'Irlande, les céréales, ou leur auxiliaire, la pomme de terre, forment non-seulement la base de l'alimentation solide, mais on en consomme des quantités considérables pour les convertir en bière et en eau-de-vie. La vigne, chez nous, comble cette lacune; elle prospère souvent dans les années sèches, comme en 1846, lorsque les céréales font défaut. Les Belges et nos voisins les Allemands du Rhin trouveront donc une heureuse sécurité contre le plus grand des maux, la *famine*, par une complète assimilation avec nous. Nos forces se décupleraient en poursuivant le même but : *bien-être assuré à tout travailleur de bonne volonté.*

Une étude plus attentive des procédés de la culture maraîchère en Chine contribuera à créer des subsistances plus variées qui viendront combler le déficit des céréales. D'heureuses acclimatations sont déjà accomplies; mais il y a là de côté une mine féconde à mettre en valeur.

L'étude philosophique des aliments nous permettra dans un temps de famine d'utiliser une foule de matériaux qui n'ont pas cette destination dans les périodes d'abondance. C'est un sujet que je traite avec soin, en parlant des herbes alimentaires ou des aliments fournis par le règne animal et qui sont habituellement négligés.

Les greniers d'abondance, les silos, les réserves de farine, formaient jadis le principal moyen préventif des disettes. Nous

Digitized by Google

ne sommes plus aujourd'hui dans ce courant d'idées. La facilité et la rapidité des transports mettent un grand obstacle à la conservation des grains sur place. L'intérêt de l'argent, les soins de conservation, les avaries par les insectes ou les mucédinées : voilà de sérieux motifs qui retiennent aujourd'hui les producteurs et les spéculateurs. Quoi qu'il en soit, reconnaissons que la question de l'ensillage des grains a fait de notre temps de véritables progrès.

Des principes féconds en résultats ont été mis en lumière par un grand nombre d'expérimentateurs, au premier rang desquels on doit placer feu Doyère.

On sait aujourd'hui qu'il faut introduire, dans des silos absolument imperméables, des grains parfaitement secs; que les blés durs doivent être préférés aux blés tendres pour s'opposer aux ravages de l'alucite, du charançon et des moisissures. Que lorsque les silos sont maintenus dans des conditions de température inférieure à 12°, les œufs d'alucite ou de charançon n'éclosent pas. Plusieurs moyens aussi simples qu'efficaces ont été étudiés : l'emploi des silos de zinc dans lequel on peut faire le vide; l'intervention de substances, toxiques pour les insectes dévastateurs, et qui peuvent être facilement éliminées. Au premier rang de ces substances il faut placer le sulfure de carbone, que recommande et son bas prix et sa facile volatilité.

Voilà sans doute d'utiles découvertes qui permettront d'écarter bien des mécomptes qu'on a éprouvés chez nous lorsqu'on a voulu conserver les blés dans les silos; mais la marine à vapeur, les chemins de fer, feront une terrible concurrence à l'ensillage des grains. La fécule, l'alcool, sont conservés plus facilement que le froment. Ils peuvent amoindrir leur consommation dans les époques de cherté, en rendant à l'alimentation les grains, les pommes de terre, qui seraient convertis en glycose ou en alcool.

Quand l'abondance excessive et l'insuffisance de l'exportation abaisseront outre mesure les prix des grains, on les emploiera à élever un plus grand nombre de bœufs, de vaches et tous nos animaux domestiques qui, eux, constituent pour nous la plus riche et la plus féconde des réserves alimentaires. Cette réserve, loin de diminuer, de se déprécier avec le temps, s'accroît dans de rapides proportions, elle augmente en même temps la masse des fumiers qui assurent le retour des années prospères.

Lorsqu'on traite la question des disettes, il faut prévoir toutes les éventualités. Que faut-il faire pour maintenir dans les grandes villes le prix du pain à un taux assez peu élevé pour que celui qui vit de son travail de chaque jour, et qui n'a que le fruit de ce travail pour nourrir ses enfants, n'éprouve pas de trop dures privations.

Bien des systèmes ont été tour à tour mis en pratique; tous présentent des avantages spéciaux et des inconvénients.

Le système des bons à prix réduits pour les nécessiteux a pour résultat utile de restreindre le chiffre de la dépense en produisant les mêmes résultats ; mais il entraîne à sa suite les embarras d'une comptabilité compliquée, il met à une rude épreuve la dignité du travailleur qui, forcé de perdre son temps et de tendre la main pour obtenir ces bons à prix réduits, prend ainsi l'habitude des secours, et fait un apprentissage qui conduit au bureau de bienfaisance.

Le système de compensation a été apprécié avec une grande élévation de vues par M. Leplay, dans son beau rapport sur le commerce de blé. Il s'agit, dans le passage que je vais citer, de la ville de Paris :

Si l'on revient, dit M. Leplay, à l'ancien principe financier qui exemptait le pain de tout impôt, le parti le plus simple serait de mettre en réserve, au retour de chaque période d'abondance, un capital formé par un prélèvement de 1 million de francs sur les revenus ordinaires de la ville de Paris.

Mais, si la ville ne veut rien distraire, pour cette destination, de ses revenus actuels, si elle ne veut point augmenter les tarifs de l'octroi, si enfin on ne craint pas de maintenir l'impôt qui se perçoit aujourd'hui sur le pain, le parti le plus simple serait évidemment de créer un fonds spécial de secours en levant un droit d'octroi sur les farines destinées à la consommation parisienne. (C'est le parti qui a été adopté par l'administration parisienne.)

Dans ce système, il semblerait opportun de cesser le prélèvement quand le prix du kilogramme de pain atteindrait 50 centimes ; si donc les prix offraient dans l'avenir les mêmes variations que pendant les 60 dernières années, il faudrait, pendant 1348 quinzaines ordinaires, prélever le fonds de réserve nécessaire pour soulager les indigents pendant 92 quinzaines de disette. La consommation journalière pour la boulangerie, la pâtisserie et les usages domestiques étant, pour le nouveau Paris, de 3500 sacs environ, il suffirait de prélever sur chaque sac une somme de 0f,782, équivalant à 0f,0039 par kilogramme de pain.

Si, en outre, on voulait momentanément rassurer les esprits contre l'éventualité d'une hausse excessive et maintenir dans l'avenir le maximum de 0f,65 qui, jusqu'à ces derniers temps, avait été garanti aux habitants de la Haye, on aurait à subvenir à une charge supplémentaire qui, pour les 60 dernières années, eût porté sur 10 quinzaines avec un excédant moyen de 0f,053. Cette charge serait à l'avenir dans les mêmes proportions, pour 60 années, de 5 565 000 francs, soit annuellement de 93 000 francs.

Il faudrait donc, dans ce second système, porter la réserve annuelle à 1 093 000 francs : on y pourvoirait par un droit d'octroi de 0f,855 par sac de farine, équivalant à 0f,0043 par kilogramme de pain.

Admettons maintenant, pour embrasser toutes les suppositions, que, malgré tous les efforts, par suite d'intempéries s'étendant sur les contrées les plus productives du globe, le froment de première qualité soit en quantité insuffisante pour pourvoir à tous les besoins : que faudrait-il tenter pour diminuer la consommation du pain blanc. C'est dans cette supposition seulement que j'admettrais la fabrication et la vente d'un *pain municipal* se vendant à prix réduit sur tous les marchés. Toute la puissance de la réserve se concentrerait pour abaisser le prix de ce pain destiné à tout nécessiteux qui voudrait l'acheter. On laisserait le riche payer le pain blanc au cours des farines.

Ce pain devrait, au moins dans ce qu'il y a d'essentiel, représenter l'ancien *pain de ménage*.

On pourrait autoriser le mélange en proportions convenables des farines provenant des grains des diverses céréales ; on pourrait y associer une petite proportion de farines de féveroles.

Ces mélanges, qui pourraient abaisser considérablement la consommation de la farine de première qualité, devraient être effectués sous la surveillance expresse d'un conseil supérieur, juge suprême et compétent de toutes les questions que font naître la fabrication du pain dans ses rapports avec la santé publique.

Toutes les graines et farines devraient être dans de bonnes conditions de conservation, exemptes de toutes les altérations qui peuvent faire suspecter la qualité du pain. Chaque farine interviendrait dans des proportions telles que la valeur nutritive du pain ne soit point abaissée, et que cet aliment ne laissât rien à désirer ni pour l'odeur, ni pour la saveur. Les membres de la commission, composée de meuniers et de boulangers vieillis dans leurs professions, de savants habitués à toutes les recherches que comportent les altérations des ali-

Digitized by Google

ments, ne devraient pas consommer d'autre pain que celui qu'ils destinent à l'ouvrier.

La liberté est sans doute préférable, à chacun du pain blanc fait avec la farine première qu'il achète chez tous les boulangers, voilà ce qu'il y a de mieux. On me pardonnera d'avoir prévu des cas extrêmes qui, j'espère, ne se présenteront pas.

Un mot encore sur les causes qui me font entourer de tant de précautions la fabrication d'un pain municipal.

Quand un ouvrier achète du *pain blanc fabriqué avec la farine première*, ses sens lui suffisent pour s'assurer qu'il ne contient rien de nuisible ; mais lorsqu'il s'agit du *pain de ménage*, il faut connaître parfaitement la qualité des matières premières qui interviennent dans sa préparation pour avoir, sous le point de vue de l'hygiène, une complète sécurité. C'est un sujet que je traite dans mon cours avec tous les détails qu'il comporte.

Me voici à la fin de ma tâche.

J'ai montré comment on pouvait espérer d'obtenir un double résultat également désirable : *Le pain à bon marché* et le *cultivateur dans l'aisance*.

Encourager sagement et énergiquement l'agriculture, c'est le moyen le plus sûr d'éloigner pour notre Europe, pour notre France, toutes les mauvaises chances dont j'ai esquissé le tableau.

L'agriculture, chez nous, ne se recommande pas seulement par les intérêts matériels qu'elle représente, elle touche à des intérêts moraux de l'ordre le plus élevé; elle ne fournit pas seulement à l'homme ce qui lui est le plus indispensable, mais par le travail non interrompu de chaque jour, par la contemplation continuelle des merveilles de la création, elle l'élève, elle le moralise, elle lui donne l'amour du bien, de la famille, du pays; elle forme les citoyens qui représentent de la manière la plus nette la force vive de la nation, et c'est sur cette base que reposent les principaux éléments de la grandeur et de la stabilité du pays.

Mais n'oublions pas que les intérêts du travailleur des villes et du travailleur des campagnes se confondent; les uns et les autres souffrent, et souffrent vraiment, car ils ont plus de maladies et meurent en plus grand nombre, quand le prix des subsistances est élevé. *Produire du pain à bon marché* : voilà le but social que nous devons nous efforcer d'atteindre.

BOUCHARDAT,
Président de l'Académie de médecine,
professeur de la Faculté de médecine de Paris.

INSTITUTION ROYALE DE LA GRANDE-BRETAGNE.

M. A. S. HERSCHEL.

Les étoiles filantes de 1865-66. — Probabilité de la théorie cosmique de leur origine.

Le professeur Newton (1) du collége de Yale (États-Unis) appela récemment l'attention sur la probabilité, basée sur des données calculées avec soin, que, dans la présente année 1866, une chute prodigieuse de météores, visible de presque tous les points de la terre, se produira, peut-être pour la dernière fois dans le siècle actuel, soit dans la matinée du 13, soit dans celle du 14 novembre prochain. La rare occasion qui nous sera ainsi donnée d'étudier quelques questions importantes dans la théorie des étoiles filantes est un motif puissant pour que les personnes habiles dans ce genre d'observations difficiles veillent avec soin pendant les deux matinées que nous venons d'indiquer (entre une heure et deux heures du matin, s'il est possible [1]), pour obtenir les data nécessaires. Humboldt vit ce phénomène à son maximum à Cumana, dans la matinée du 12 novembre 1799 ; le docteur Denison Olmsted le vit aussi dans toute sa splendeur à Newhaven (États-Unis) le 13 novembre 1833. Olmsted fut le premier qui résuma, dans les termes suivants, les traits principaux de ce phénomène :

1° Le nombre, *principalement de météores brillants*, est beaucoup plus considérable qu'à l'ordinaire.

2° Une grande proportion *laisse des traînées lumineuses*.

3° Ils émanent, à quelques exceptions près, d'un centre commun situé dans quelque partie de la constellation *Leo*.

4° On les voit de minuit au lever du soleil, *mais un plus grand nombre entre trois et quatre heures du matin*.

Olmsted pensait que ces traits principaux suffiraient pour faire reconnaître à l'avenir la pluie d'étoiles filantes de novembre. Les observateurs qui essayeront de vérifier ces assertions procureront des matériaux précieux pour les investigations futures. En outre, les mêmes caractères offrent un intérêt tout spécial, car, à quelques différences près, on les peut appliquer à d'autres pluies météoriques.

La périodicité de la pluie des météores du 10 août fut découverte à la fois par Quételet en 1836 et par Herrick (qui ne connaissait pas la prédiction de Quételet), au retour des mêmes météores, en 1837 (2). L'année suivante, le 10 août 1839, Littrow (3) prouva qu'une chute d'étoiles filantes, qui arriva le 5 août N. S. 1451 A. D., selon Biot, qui emprunte ce fait aux *Annales chinoises*, comparée à une autre qui arriva, selon la même autorité, le 26 juillet N. S. 830 A. D., donne 365 jours, 6 heures, 12 minutes, comme la longueur moyenne de l'intervalle entre deux retours successifs des météores d'août; il prouva, en outre, que la même chute de météores, comparée avec celle du 10 août 1839, donne 365 jours, 6 heures, 8 minutes, comme la longueur moyenne de la même période, le terme moyen des deux déterminations étant de 365 jours, 6 heures, 10 minutes, soit 20 minutes de plus que l'année civile ou tropicale, *mais qui diffère de moins d'une minute de l'année sidérale*. Outre les météores d'août qui se produisirent vers l'an 830 A. D., les *Annales chinoises* (4) mentionnent d'autres météores de la nature de pluies d'étoiles qui seraient arrivés à la fin de juillet N. S. vers l'an 933 A. D.; Herrick en cite un autre qui arriva le 2 août N. S. 1243. L'année météorique d'août coïncide donc avec l'année sidérale ; et une période de 103 ans fait coïncider toutes les pluies d'étoiles de 830, 933,

(1) *American Journal of science*, 2e série, vol. XXXVII, p. 377; et vol. XXXVIII, p. 53.

(1) Le but que l'auteur se propose en restreignant l'observation à une heure particulière est qu'on puisse observer *simultanément* le plus grand nombre possible de météores dans des endroits différents.

(2) *American Journal of science*, 1re série, vol. XXXIII, pp. 176, 354 ; et vol. XXXVII, p, 338.

(3) *Astr. Nachr.*, vol. XVIII, p. 374.

(4) Quant à la visibilité des météores d'août en Chine, le capitaine Sherrard Osborn, C. B., rapporte que les veilleurs à bord du *Furious*, auprès de Yedo, au Japon, en virent des centaines se dirigeant du nord-est à l'ouest, dans la nuit du 9 au 10 août 1858. — *Cruise in Japanese waters*, p. 102.

Digitized by Google

1243 et 1451 avec la pluie du 10 août 1863. Biot cite, en outre, une pluie d'étoiles qui arriva à la fin de juillet N. S. 833. On peut s'attendre à ce que cette pluie se reproduise dans la nuit du 10 août 1866.

On a gardé le souvenir de treize grandes chutes d'étoiles, entre le 13 octobre et le 13 novembre, depuis l'année 903 jusqu'en 1833. Elles sont séparées l'une de l'autre par un tiers de siècle ou par quelque multiple de cette période, et sont des retours périodiques d'une grande pluie météorique, c'est-à-dire celle observée par Humboldt en 1799 et par Olmsted en 1833 ; c'est la pluie d'étoiles que nous attendons cette année et qui a reçu le nom de « la grande pluie de novembre ». Sa rencontre avec la terre à chacun de ses retours principaux a lieu, chaque année, un jour plus tard. Selon les calculs exacts du professeur Newton, le passage prochain de la terre à travers le centre du groupe météorique aura lieu deux heures après le lever du soleil, dans la matinée du 14 novembre 1866. Comme, cependant, le phénomène s'est produit dans la matinée du 13, en 1864 et 1865, et pas aussi brillamment le 14, son moment de plus grande splendeur peut donc arriver un jour plus tôt que le temps prédit; aussi est-il bon qu'on surveille le ciel et le 13 et le 14. Comme les météores se voient à partir de minuit jusqu'au lever du soleil, de une heure à deux est le moment le plus favorable qu'on puisse choisir pour faire des observations simultanées.

Dans la matinée du 13 novembre 1865, la pluie météorique a été observée en Angleterre, dans les observatoires de Greenwich et de Cambridge, à Hawkhurst et dans d'autres endroits. M. Glaisher et le professeur Challis constatent que le nombre des météores, par heure, excédait tout ce qu'on avait vu précédemment dans ces observatoires. Plus de 250 météores (279) ont été notés, à Greenwich, de minuit à cinq heures du matin. Pendant un quart d'heure, la course des météores a travers les étoiles n'a pas été notée; on se contenta de les compter. Le résultat fut qu'en ce moment des météores de première classe paraissaient à raison de 250 par heure. 1000 météores au moins ont dû être visibles, à Greenwich, d'une heure à cinq heures du matin dans la matinée du 13. On les vit seulement après minuit jusqu'au moment du lever du soleil, et c'est entre une heure et deux heures qu'ils furent le plus abondants. Le nombre maximum des météores attendus en novembre 1866 excède de plusieurs centaines de fois le nombre observé à Greenwich le 13 novembre 1865. Arago a calculé qu'on avait dû voir *deux cent quarante mille* météores au-dessus de l'horizon de Boston, dans la matinée du 13 novembre 1833. Des centaines de météores vus dans cette occasion paraissaient plus brillants que les planètes, et quelques-uns des boules de feu considérables.

Près des deux tiers (172) des météores vus à Greenwich laissaient des traînées lumineuses, visibles plusieurs secondes après la disparition des météores. Leur nombre extraordinaire et l'apparition de traînées lumineuses concordent avec la description qu'a faite Olmsted des météores de 1833 et ne laissent aucun doute quant au retour de la pluie de novembre. Sa réapparition cette année lui vaudra très-probablement le nom de la « grande pluie de novembre » de 1866.

Sur les étoiles filantes vues à Hawkhurst en novembre dernier, 17 étaient identiques avec des météores observés à Greenwich ; 15 autres météores étaient identiques avec des météores vus à Cambridge. Les hauteurs, longueurs de course, etc., de 10 météores ont été calculées, et c'est aussi le nombre calculé par le docteur Heis de Münster. J'ai rapproché dans le tableau suivant, pour qu'on puisse les comparer, les hauteurs moyennes obtenues aux deux endroits :

	Hauteur moyenne de dix météores observés à	
	Hawkhurst.	Munster.
	Milles anglais.	Milles anglais.
Hauteur moyenne au moment de l'apparition	74	77
Hauteur moyenne au moment de la disparition	54	44
Hauteur moyenne au centre de la course visible	64	61

La hauteur moyenne des centres *est un peu plus grande* que la hauteur communément reconnue des étoiles filantes. Le professeur Newton a prouvé que la hauteur ordinaire des étoiles filantes, au milieu de leur course apparente, n'*est pas tout à fait de soixante milles au-dessus de la surface de la terre* (1).

La divergence des météores de novembre dans l'année 1865, d'un centre commun situé dans la constellation *Leo*, a été remarquée et en Europe et en Amérique, et les positions suivantes ont été obtenues :

Place et nom de l'observateur.	Position du centre d'émanation. 13 novembre.	
	Asc. D.	Décl. N.
Greenwich (M. Glaisher)	160°	30°
Hawkhurst (M. Herschel) (2)	150	20
Munster (Dr Heis)	148	24
Newhaven (États-Unis) (prof. Newton)	148	23
Philadelphie (États-Unis) (M. March)	148	24

La moyenne de ces positions est à quelques degrés de l'étoile brillante γ *Leonis*, dont la position est asc. droite 153°, décl. N. 21° ; néanmoins la corrélation des trois derniers endroits de la liste mérite une attention particulière.

Les centres d'émanation suivants de pluies météoriques ont été notés à Hawkhurst, pendant les quelques dernières années, à l'aide de cartes stellaires construites expressément dans ce but. Le professeur Tyndall veut bien projeter sur le tableau des vues des observations originales, piquées sur des cartes montrant les centres d'émanation.

Période météorique (3)		Date d'observation.	Position du centre d'émanation.	
			Asc. D.	Décl. N.
Janv.	2-3	1864	234°	51°
Avr.	9-11	*Id.*	192	4
Id.	19-21	*Id.*	278	35
Août	9-11	1863	44	56
Oct.	18-20	1864-5	90	16
Nov.	12-14	1865	150	20
Déc.	11-13	1863-4	101	34

On peut classer de la même manière un grand nombre d'observations de météores lumineux, contenus dans le catalogue de l'Association britannique, depuis 1845 jusqu'à présent; on peut reconnaître, en faisant cette classification, que plus de cinquante centres d'émanation de météores coïncident, pendant l'année, par leur époque et leur position, avec les

(1) *American Journal of science*, 2e série, vol. XXXIX, p. 194.

(2) *Astronomical Register*, n° 37, p. 18. — Le centre d'émanation de trente-cinq météores observés de une heure à trois était : ascension droite 148°, déclinaison nord 23°, exactement la même position que celle assignée par le professeur Newton.

(3) Baumhauer cite ces périodes météoriques comme celles où les globes de feu sont les plus communs, *Poggendorf's Annals*, vol. LXVI, p. 471, 1845.

Digitized by Google

époques et les positions observées par le docteur Heis. On construit dans ce moment des cartes de ces météores, et leur publication sera le premier pas fait vers l'établissement d'une théorie météorique. Quand on sera parvenu à relier les uns aux autres les différentes chutes de météores et les centres d'émanation, ce qu'on appelle ordinairement les étoiles filantes « sporadiques » deviendront excessivement rares.

Quelques exemples étudiés dernièrement prouvent que les aérolithes sont non-seulement indépendants de la position géographique, mais qu'ils ont aussi des époques et des directions fixes. Deux aérolithes tombèrent le 25 août 1865 : l'un à Aumale en Algérie, l'autre à Shergotty dans l'Inde. Deux météores détonants de la plus grande classe ont été vus en décembre 1865 : l'un le 7, à l'embouchure de la Loire ; l'autre le 9, à Charleston (États-Unis). On a vu trois météores détonants sur la côte orientale de l'Angleterre, pendant les cinq dernières années (1861-65), entre le 19 et le 21 novembre. Deux de ces derniers avaient un centre d'émanation commun, la constellation *Cetus*. On a vu un grand météore à Hawkhurst, dans la matinée du 9 décembre, et un autre à Manchester, dans la matinée du 13 décembre 1864, qui émanaient aussi de la même constellation. Une similitude notable quant à la distribution géographique générale, les retours périodiques et les directions fixes, tendrait à indiquer un rapport astronomique entre les aérolithes et les étoiles filantes ordinaires. Il paraît, néanmoins, que sur 72 aérolithes, dont on connaît exactement l'heure de chute, de beaucoup le plus grand nombre (58) sont tombés après *midi*, entre midi et neuf heures du soir. Les étoiles filantes, au contraire, atteignent leur maximum à une heure opposée, car c'est après minuit, *ou douze heures plus tard*, qu'elles sont le plus abondantes. Une différence astronomique existe donc entre les aérolithes et les étoiles filantes, à laquelle il n'est pas impossible qu'une différence physique, qu'on ne connaît pas encore, corresponde. On a remarqué, par exemple, que le 10 août et le 13 novembre, dates où les étoiles filantes sont plus abondantes que dans toute autre nuit de l'année, *une pierre seulement* est tombée chaque jour. La hauteur moyenne de 78 météores observés en Amérique, le 13 novembre 1863, excédait de 15 à 20 milles la hauteur ordinaire des météores. Se basant sur ces faits, le professeur Newton suppose que les météores de novembre sont composés de matières plus facilement destructibles ou plus inflammables que les aérolithes. L'observation de la lumière des étoiles filantes, particulièrement en novembre, au moyen du spectroscope, prouverait immédiatement si ces météores et leurs traînées lumineuses sont composés de substances à l'état gazeux ; *on pense qu'ils sont solides*, quoique probablement portés à un grand état de division. Le maximum d'intensité, qui se produira en novembre, permettra de savoir si les étoiles filantes consistent en particules à l'état de poussière ou de vapeur, et c'est là ce que le spectroscope seul peut nous apprendre ; aussi espérons-nous qu'on ne laissera pas échapper cette excellente occasion.

Le docteur Tyndall va bien vouloir projeter sur le tableau le spectre d'une chute d'étoiles filantes pris au moyen d'un prisme embrassant un champ de vue d'au moins 20°.

Quelques autres expériences terminent la lecture.

A. S. HERSCHEL.

Traduit de l'anglais par E. BARBIER.

BULLETIN DES COURS.

Athénée de Paris.

La *Revue des cours littéraires* a déjà annoncé, il y a quinze jours, l'ouverture de ce nouvel établissement d'enseignement libre qui aura lieu vers le milieu du mois prochain, et elle a donné la liste des principales conférences qui rempliront les premières séances. Nous extrayons de cette liste la série des conférences scientifiques, qui sera inaugurée par M. Delaunay :

MM. DELAUNAY, de l'Institut : La lune.
BABINET, de l'Institut : Revue orale des sciences.
HATON DE LA GOUPILLÈRE : Mécanique appliquée à l'industrie.
ALBERT GAUDRY : L'homme fossile.
G. VILLE : Transformation de l'agriculture par la chimie.
LISSAJOUS : L'acoustique des sourds ; — l'électricité considérée comme moteur.
PERDONNET : Les nouvelles armes à feu ; — les grands travaux de chemins de fer.
A. RICHE : Le diamant.
WURTZ : Questions de chimie, etc., etc.

L'*Athénée* possédera aussi des séries de leçons, constituant des sortes de cours analogues à ceux des établissements de l'État. Nous pouvons dès aujourd'hui donner le programme d'un cours de ce genre, que le célèbre naturaliste allemand, *Charles Vogt*, professeur à l'Académie de Genève, doit faire à l'*Athénée* sur l'*Homme et l'époque antéhistorique*, cours qui comprendra six leçons et commencera probablement vers le mois de janvier prochain :

I. — Introduction. Méthode d'investigation. Sources de nos connaissances antéhistoriques. Terrains diluviens et d'alluvions. Cavernes et brèches osseuses. Marais tourbeux et lacs. Correspondances des caractères tirés de la position géologique, des restes d'animaux et des instruments de l'homme.

II. — Époques différentes et leurs transitions. Époque de pierre. Première période des animaux éteints, des instruments bruts de silex. Haches d'Amiens et d'Abbeville. Mammouth, Rhinocéros, Ours des cavernes.

III. — Époque de pierre. Seconde période : du Renne et des instruments en bois de renne. Sculptures primitives.

IV. — Époque de pierre. Troisième période : des animaux domestiques et des instruments de pierre polie. Débris de cuisine et tumuli de Danemarck. Pilotis lacustres (talafittes). Agriculture et industrie.

V. — Age de bronze. Terramares d'Italie. Transition aux époques historiques. Anciennes races humaines. Crânes d'Engis, Néanderthal, Fursooz.

VI. — Conclusions. Origine du genre humain. Rapport avec les autres êtres. Formes de transition. Singes, microcéphales, hommes. Perfectibilité de l'homme. Constance et variabilité des types.

Les conférences scientifiques de l'Athénée, qui paraissent appelées à un brillant avenir, paraîtront dans cette Revue à côté des soirées scientifiques de la Sorbonne, dont la réouverture doit avoir lieu un mois plus tard.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE NUMÉRO 49 3 NOVEMBRE 1866

Paris, 2 novembre 1866.

M. Fremy a lu à l'Académie des sciences un mémoire sur la formation de cristaux dans les dissolutions de substances qui se déposent d'ordinaire à l'état amorphe. Soupçonnant que ce qui empêchait ces substances de cristalliser, c'était la trop grande rapidité de la précipitation qui ne laissait pas aux forces moléculaires le temps de se produire convenablement, M. Fremy a eu recours à divers moyens afin de rendre beaucoup plus lente la formation des précipités; il a employé notamment, pour séparer les dissolutions qui devaient réagir, des vases de bois ou de porcelaine dégourdie et des membranes poreuses. Les corps réagissants n'arrivaient ainsi au contact que par fractions minimes se succédant lentement.

Dans ces conditions particulières, M. Fremy a vu se former des cristaux de diverses substances qui ne précipitent d'ordinaire qu'à l'état amorphe. Ces recherches conduiront peut-être à expliquer d'une manière simple la formation de certains dépôts que les chimistes ne savaient pas reproduire dans les conditions où ils étaient observés. M. Fremy a étudié notamment les silicates alcalins (de soude et de potasse). Il croyait d'abord avoir obtenu du quartz artificiel par voie humide; mais l'analyse de ses cristaux lui a prouvé que leur composition n'était pas tout à fait celle du quartz naturel.

M. Rayer a présenté, au nom de M. Villemin, agrégé au Val-de-Grâce, une note sur les causes et la nature de la tuberculose ou phthisie pulmonaire, dans laquelle il expose la suite de ses recherches sur la production artificielle et l'inoculation de la tuberculose qui ont si vivement intéressé le monde médical. Dans une série d'expériences, sur 22 lapins inoculés, 2 seulement ont échappé à la phthisie. On avait prétendu que ces inoculations étant faites avec des tubercules recueillis sur des cadavres, la mort s'expliquait par l'influence qu'exerce toute matière cadavérique. Pour répondre à cette objection, M. Villemin a pratiqué des inoculations avec des tubercules de lapins encore vivants, et les résultats ont été les mêmes. Enfin M. Villemin étudie la tuberculose de la vache et prouve qu'elle a la même nature que celle de l'homme.

E. A.

INSTITUTION ROYALE DE LA GRANDE-BRETAGNE.

(Lectures du vendredi soir.)

CONFÉRENCE DE M. D. T. ANSTED

(de la Société royale de Londres).

Les volcans de boue de la Crimée.

Je me propose d'appeler votre attention sur les sujets suivants :

1° Les volcans de boue en général, et surtout ceux de la Crimée et de la Sicile, considérés comme phénomènes d'action volcanique étouffée.

2° La présence fréquente de pétrole, de naphte et d'autres hydrocarbones dans le voisinage des volcans de boue.

3° L'existence de lignites, de houille, ou d'autres dépôts de matières organiques végétales ou animales auprès des volcans de boue.

3° Les rapports géologiques qui existent probablement entre les volcans de boue et les lignes reconnues d'énergie volcanique, les principales lignes d'élévation affectant de grandes surfaces, et les métamorphoses qui ont produit les hydrocarbones sous la forme de pétrole, naphte, bitume et argile bitumineuse.

I. Volcans de boue.

Le phénomène connu sous le nom de volcans de boue, se produit sur une grande échelle, dans la partie orientale de la Crimée, auprès de Kertch et dans la péninsule voisine de Taman. La côte orientale du Bosphore cimmérien est presque de niveau, mais dans certains endroits elle présente une multitude de petites hauteurs et quelques collines considérables. Ces collines sont dues à des éruptions de boue. Quelques-unes sont grandes et élevées, et l'éruption n'y continue pas. D'autres aussi ont une grande dimension, et sont continuellement ou occasionnellement actives. J'ai visité la Crimée dans le courant de l'été dernier, et, bien que, depuis quelques mois, aucun des plus anciens et des plus grands volcans ne se soient mis en activité, bien qu'aucun volcan nouveau n'ait paru, il était facile, à cause du grand nombre de volcans dans différents états d'activité, de comprendre les principales variétés qu'ils offrent. Cependant, avant de les décrire, je pense qu'il vaudra mieux que je vous dise quelques mots d'une éruption de la même nature, qui se produisit en Sicile pendant mon séjour dans cette île. Dans cette occasion, j'ai été assez heureux pour pouvoir assister à la formation d'un volcan de boue, et en combinant ainsi mes observations en Sicile et en Crimée, j'ai pu juger ces curieux phénomènes et les décrire

d'après mes propres observations. L'éruption sicilienne commença sept jours seulement avant le commencement de l'éruption dans l'île de Santorin. Il faut se rappeler que l'éruption de l'Etna, l'année dernière, fut accompagnée d'une action souterraine dans la mer Égée, et à l'extrémité de la Morée et à Santorin même; et, quoiqu'il y ait une distance de cinq cent milles, la communication souterraine est prouvée.

A Paterno, près de l'extrémité sud-ouest des laves de l'Etna, une éruption boueuse eut lieu le 23 janvier dernier, dans une plaine au-dessous de la colline escarpée sur laquelle Paterno est bâti, et non loin du lit du Simeto. Cette éruption commença par l'expulsion d'un fort jet d'eau qui a dû jaillir à travers quelque crevasse dans la lave. La crevasse ne peut se voir, excepté toutefois à l'endroit de l'éruption, dans le conglomeré et le gravier sablonneux de la surface. Un jet d'eau bouillante sortit d'abord d'un seul endroit et s'éleva à près de six pieds. Plusieurs autres jets se firent jour ensuite à une distance de quelques mètres, le premier jet diminua de volume, quoique la quantité d'eau émise s'augmentât. La température des jets baissa graduellement. Il n'y avait ni bruit, ni flamme, ni vapeur visible, mais beaucoup de gaz s'échappant de l'eau et quelque peu de naphte.

L'eau rejetée était boueuse dès le commencement, mais aucune pierre, aucun morceau de matières solides ne fut éjecté. Le niveau du point d'éruption était environ 600 pieds au-dessus du niveau de la mer; cette hauteur a été déterminée au moyen d'un baromètre anéroïde. L'eau rejetée s'écoulait dans le Simeto, laissant derrière elle une couche de boue qui couvrait le sol à quelque distance.

Je visitai cet endroit le huitième jour après le commencement de l'éruption. Du jet principal s'élançait une forte colonne d'eau sale, très-chargée de gaz. Une quantité considérable de pétrole, couleur vert foncé, flottait à la surface de l'eau, mais n'avait pas été recueilli. La température de l'eau était au-dessus de 110° Fah. Les observations, toutefois, étaient difficiles, car je n'avais pas de thermomètre maximum. La chaleur était certainement plus élevée, car l'eau brûlait la main. Les bulles de gaz étaient fort grandes, et à intervalles sortaient par bouffées; j'en ai compté quarante en une minute. Ce gaz était principalement du gaz acide carbonique. Il y avait quatre autres jets considérables d'eau tiède, tous dans la direction d'une ligne joignant le point original d'éruption au cône principal de l'Etna. Ils se trouvaient à une distance d'environ 4 mètres l'un de l'autre. Une multitude de jets d'eau froide boueuse, beaucoup plus petits, sortaient de crevasses dans différents points du sol, sur une superficie de 20 acres. On n'aurait pu donner à aucun de ces jets le nom de boue épaisse, mais l'exposition à l'air et l'évaporation produisaient une pâte épaisse. A 300 mètres environ au delà, dans la direction du grand cône de l'Etna, il y a une source remarquable d'eau chargée de gaz acide carbonique, s'élevant à une température de 64° Fah. Cette source ne paraît pas avoir été affectée par l'éruption. Je n'ai jamais vu, sauf à Pyrmont, d'eau chargée de tant de gaz. Un peu au delà de cette source, s'en trouve une autre sortant de dessous de vieilles laves, à une température de 60° Fah.

A environ un mille du volcan de boue et dans la direction opposée aux sources, se trouvent des blocs de lave basaltique très-dure, sur une pente naturelle. Ces blocs semblaient être tombés d'un escarpement basaltique placé au-dessus. Quand on frappe ces blocs avec un marteau, ils émettent une forte odeur bitumineuse, et quand on en enlève un fragment, on voit d'innombrables petites cavités pleines de naphte.

Les volcans boueux de la Crimée et de Taman sont très-nombreux, et tous dans une région presque parallèle à l'axe du Caucase. On sait que de semblables volcans existent près de Tiflis, à moitié chemin entre la mer Noire et la mer Caspienne, à Bakou, sur la côte occidentale de la Caspienne et dans des îles qui se trouvent près des côtes orientales de la même mer. Le district que j'ai principalement examiné s'étend à environ cinquante milles du détroit de Kertch, vers l'est, et à environ vingt milles vers l'ouest.

Auprès d'Enikale, il y a plusieurs cônes distincts. Quelques-uns sont modérément actifs, beaucoup complétement inactifs. On peut approximativement fixer la date d'activité en examinant les cônes, car la boue rejetée, quand elle est nouvelle et pendant près de deux ans, n'est pas propre à la végétation; ce n'est qu'après ce laps de temps qu'elle commence à se couvrir de plantes. En remarquant l'état de végétation, je pus ainsi déterminer que quelques cônes avaient récemment rejeté de la boue, quoiqu'ils fussent parfaitement secs à l'époque de ma visite.

Tous les cônes d'éruption présentent les mêmes caractères généraux. La boue coule lentement du sommet, elle est tenace et souvent aussi épaisse que la mélasse. Des bulles de gaz accompagnent toujours la boue. Dans un cas, j'ai compté quinze grandes bulles par minute, dans un autre trente. La température de la boue avait dans un cas 56° Fah. Dans un autre tout auprès 66° Fah. J'ai mesuré la longueur d'une coulée de boue, et j'ai trouvé qu'elle avait 60 mètres de long depuis le cône d'éruption jusqu'à l'endroit où elle s'arrêtait définitivement. Les différents cônes se composent de la boue rejetée. Dans le cône que j'ai mesuré, la pente était de vingt pieds, c'est-à-dire d'un pied sur neuf. D'autres cônes, et d'ailleurs la partie supérieure de tous les cônes, sont beaucoup plus escarpés.

Dans tout ce groupe, le vent du nord augmente ordinairement la coulée de boue, cette quantité varie de mois en mois et à différentes saisons. Assez souvent elle s'arrête complétement pendant quelque temps.

A peu de distance, à l'ouest d'Enikale, est une autre région d'une superficie considérable complétement couverte de boue récemment rejetée. La boue est toujours de la même espèce, noirâtre quand elle est sèche, très-tenace, et quand elle coule, excessivement fine. J'ai observé, cependant, dans chaque endroit, un grand nombre de fragments de minerai de fer, tous très-petits et distribués assez également sur les collines de boue; j'ai aussi remarqué cela sur tous les cônes à Kertch et à Taman. J'ai vu et je possède des morceaux d'un fragment de lignite rejeté par un volcan de boue à Sassuolo, près de Modène.

Non loin de Kertch, vers le sud-ouest, se trouve un autre volcan de boue semblable, et auprès un vieux cône fort grand et évidemment dû à la même cause. Il y a tout auprès plusieurs petites sources de boue.

Sur le côté oriental du détroit de Kertch, et à l'intérieur de la péninsule de Taman, qui est formé par le delta du Kuban, la plus grande des rivières venant du bassin septentrional du Caucase, il y a un groupe très-important et très-étendu de collines coniques de marne et de boue, qui sans aucun doute, ont été produites par des éruptions de boue dans des circonstances identiques avec celles que nous venons

Digitized by Google

de décrire. Elles occupent une superficie de plusieurs milles carrés. Le Kuban lui-même se termine par une immense étendue de boue, couverte dans la plus grande partie par moins d'un pied d'eau, et toute la péninsule de Taman est une succession de digues de boue tantôt au-dessus, tantôt au-dessous du niveau de l'eau, avec quelques canaux étroits où peuvent passer des vaisseaux de peu de tirant. La monotonie de la surface n'est troublée que par des cônes de boue.

Nous devons à Pallas le récit détaillé d'une éruption qui eut lieu dans cette péninsule à la fin du siècle dernier. Cette éruption causa la formation d'une large colline conique visible de Kertch, qui est environ à quatorze milles de distance, et qui forme un objet remarquable pour les vaisseaux qui traversent le détroit. Je visitai ce cône, bien qu'avec difficulté, car personne dans les environs ne le connaissait, et il n'y a auprès ni débarcadère ni route qui y conduise. Il se trouve en face de Taman, sur le côté opposé de la crique. Ce volcan est éteint, mais on remarque encore des traces récentes d'éruption de boue sur une petite échelle. Le cône principal a été très-maltraité par les intempéries. Il consiste en argile avec des petits morceaux angulaires de pierre calcaire et des petits fragments d'oxyde de fer. Il y a une dépression ou cratère au sommet. J'ai estimé la hauteur à environ 250 pieds, mais je ne pouvais guère me fier à mon baromètre. On l'appelle actuellement Gorela, nom qui signifie simplement une colline. Il semble avoir été connu sous d'autres noms il y a quelques années, car il porte le nom de Kakuoba sur la carte du colonel Jervis.

A plusieurs milles de ce vieux cône, vers l'est, est le village d'Aktinisorka, auprès duquel j'ai trouvé un groupe remarquable de volcans de boue en activité à l'époque de ma visite. Il y en avait quatre considérables, tous rejetant de la boue. Un autre, qui avait été actif en 1863, était couvert de végétation. Ces collines avaient à peu près la même hauteur que celle décrite par Pallas (celle qu'on appelle actuellement Gorela), et elles forment un groupe considérable. On les appelle Luvarka. Comme les autres, elles contenaient de nombreux fragments d'oxyde de fer. Un plateau qui a quelques milles de longueur derrière et près le village de Taman, est aussi entièrement formé de boue rejetée. Mais ces collines de boue sont détachées du groupe que nous venons de décrire. On trouve des traces de volcans de boue au pied du Caucase, à l'est, jusqu'à la mer Caspienne, à l'ouest, jusque dans la mer Putride, de telle sorte que la ceinture de volcans boueux est presque ininterrompue sur le côté méridional du Caucase, et s'étend à travers les plaines basses du sud de la Russie jusqu'à une distance considérable, marquée partout par les mêmes caractères particuliers, et avec des preuves semblables de communication avec l'intérieur de la terre. Les distances dont nous venons de parler peuvent être grossièrement estimées ainsi qu'il suit : du bord oriental de la Caspienne à Tiflis, environ 500 milles, avec plusieurs chaînons. De Tiflis à Anapa, près de 400 milles, sans chaînons. D'Anapa à la mer Putride, qui, sans contredit, sont réunies par de semblables phénomènes, 200 milles.

En nous dirigeant vers l'est de l'Europe, nous ne retrouvons plus de traces distinctes de volcans de boue jusqu'à ce que nous arrivions dans l'Italie septentrionale, où l'on en trouve de fort remarquables et fort bien connus à Sassuola, et autre part, sur les pentes septentrionales de l'Apennin, dans les provinces de Parme et de Modène. Ces volcans ont présenté tous les phénomènes ci-dessus indiqués pendant le dernier siècle, et ils sont décrits dans les ouvrages classiques. De l'autre côté des Apennins, les sources boriques, près de Volterro, sont de la même nature, mais on ne rencontre plus, je crois, de vrais volcans de boue que quand on atteint la Sicile. Là, sur les rampes de l'Etna, et auprès de la côte méridionale, à Girgenti, ils se retrouvent avec tous les caractères ordinaires. On a souvent décrit ces derniers volcans.

On a aussi découvert des volcans de boue à différents endroits, sur les rampes septentrionales de la chaîne de l'Himalaya et jusqu'en Chine. Ils appartiennent aussi au système volcanique du nouveau monde, où les volcans du Mexique sont récents et très-étendus. Les plus remarquables de ceux dont les géologues parlent le moins sont ceux de la Trinité, de la Californie et de l'Islande.

Il sera utile de dire quelques mots de ces volcans avant de passer à une autre partie de notre sujet. Les volcans de boue de la Trinité ont été récemment décrits par M. G. P. Wall. Selon Bunsen, les éruptions de boue de l'Hécla semblent être principalement de l'eau sale, légèrement imprégnée de boue et très-chaude. Sous ce rapport, ils ressemblent plus à celui de Paterno qu'à ceux de la Crimée. Se trouvant plus près du grand centre de chaleur volcanique, les phénomènes sont moins lents. Les phénomènes semblables en Californie, dans le district de Colorado, se produisent auprès de rochers volcaniques éteints ordinaires. Là aussi, la chaleur est intense, la boue s'échappe en jets qui ont plusieurs pieds, quelquefois même cent pieds de hauteur. Des fragments de pierre ponce sont répandus dans la plaine, et la boue s'écoule vers un lac salé voisin. Sous les autres rapports, ces volcans boueux ressemblent beaucoup à ceux de l'Asie et de l'Europe, et aux grands geysers de l'Hécla.

En somme donc, on peut dire que les volcans de boue représentent d'une manière frappante un état d'activité volcanique sur son déclin, dans certaines conditions qui sont loin d'être universelles. Il y a certainement bien des régions volcaniques où il ne se passe rien de la sorte ; dans beaucoup de régions, on ne trouve que de l'eau chaude ou des sources minérales, dans d'autres des minéraux particuliers, tels que le borax. La vraie boue rejetée par les volcans est tantôt épaisse, tantôt fluide, accompagnée ou non de substances étrangères, sa température varie entre celle de l'eau bouillante et celle de la température moyenne annuelle du pays. Les phénomènes aussi, quoiqu'ils varient dans les détails, sont en somme constants dans leur nature et suivent toujours la même marche. On peut dire que l'éruption commence par de l'eau chaude et des gaz, quelquefois accompagnés de boue et même de fragments considérables de rochers. La force éruptive étant comparativement minime, le résultat est aussi peu considérable ; mais, de même que dans les autres régions volcaniques, la force se produit principalement sous forme de crevasses dans certaines lignes de résistance moindre. Dans les volcans de boue, la vapeur sortant des crevasses s'est condensée en eau avant d'arriver à la surface. L'eau entraîne les substances terreuses qu'elle rencontre sur son chemin, et ainsi de la boue plus ou moins épaisse sort de la crevasse au lieu de lave. Enfin la boue peu épaisse laisse passer à la surface, sous forme de bulles, l'acide carbonique et les autres gaz.

Digitized by Google

II. Pétrole et bitume.

Dans tous les volcans de boue dont nous venons de parler, et dans tous ceux qui ont été décrits en détails par des observateurs compétents, il paraît que de l'huile minérale, du naphte ou du pétrole, sort avec le torrent boueux qui forme l'éjection, et c'est là ce qui arrive ordinairement; ou bien est produite en quantité assez considérable par des sources ou des puits dans le voisinage immédiat. Ainsi, à Bakou et sur d'autres points, près de la mer Caspienne, la quantité de naphte émise par des sources placées près de volcans boueux est très-considérable, et continue de couler depuis un temps immémorial. Auprès de Tiflis, il y a d'importantes sources de naphte. A Anapa, on a récemment creusé un puits d'où jaillit le naphte. Dans la péninsule de Taman, on trouve des traces nombreuses de pétrole dans les rocs tertiaires. Auprès de Kertch, dans le voisinage de tous les volcans de boue que nous avons décrits, il y a de nombreux puits peu profonds creusés dans les marnes tertiaires, où depuis un temps immémorial les Tartares se procurent de l'huile. Le nombre de ces puits est trop grand pour qu'on puisse l'estimer. Dans un cas, je remarquai un puits fournissant une quantité considérable de naphte, creusé à moins de 12 mètres d'un volcan boueux en activité et sur le cône même d'un volcan éteint. Autre part, l'eau rejetée par les volcans est recouverte d'une couche de naphte. L'odeur du naphte envahit tout le pays, et, se mêlant à celle de l'hydrogène sulfuré, peut-être aussi de l'hydrogène phosphoré, infecte toute l'atmosphère de la mer Putride. Il est prouvé que, dans tous ces cas, les sources de pétrole sont reliées à des crevasses, ordinairement situées dans des rocs argileux que souvent l'huile sature entièrement. Ces sources traversent quelquefois des calcaires ou des grès compacts, et rendent ces rocs très-bitumineux. Il y a dans le sud de l'Italie une source d'huile minérale flottant sur l'eau, à un endroit, et non loin de là, on trouve un vaste dépôt de bitume presque pur. On rencontre sur toute la chaîne des Apennins, du côté oriental, et à de fréquents intervalles, les preuves les plus évidentes de la présence du bitume. Vers le nord, et là où les montagnes changent de direction et deviennent parallèles à la chaîne principale des Alpes, des sources nombreuses de pétrole et de naphte d'une pureté remarquable s'élèvent à travers les rochers. On remarque des phénomènes semblables dans l'Asie Mineure, à la mer Morte, et sur les anciens sites de Sodome et de Gomorrhe, et traversant la Grèce on les retrouve dans les îles Ioniennes. Depuis le temps d'Hérodote, Zante est célèbre pour ses sources de pétrole; enfin la région huileuse se continue vers le sud par l'Égypte et l'Arabie. Dans toutes ces parties du monde, il y a des endroits où le pétrole existe dans la terre, sous la forme fluide ou semi-fluide, ou bien dans un état de solidification récente; dans bien des endroits il coule comme de l'eau à la surface. La Trinité et les parties avoisinantes de l'Amérique du Sud nous offrent de nombreux et magnifiques exemples de volcans de boue accompagnés d'abondantes sources de naphte et de pétrole.

Mais, outre les endroits déjà cités où le pétrole se trouve dans le voisinage de volcans de boue, ou si intimement associé à des volcans, que nous pouvons immédiatement reconnaître les chaînons qui les unissent, il y en a d'autres, et ce sont les plus remarquables du monde quant à la quantité d'huile minérale qu'ils produisent, loin de tout volcan de boue, et même loin de toute influence volcanique. Je veux parler, bien entendu, des districts huileux de l'Amérique du Nord où l'huile s'élève en quantités proportionnelles à la grandeur des houillères et aux vastes plis des couches à travers lesquelles elle arrive à la surface. C'est là une preuve d'axes géologiques d'une extrême importance; et quoiqu'il n'y ait aucune évidence de communications avec l'intérieur telles que celles offertes par les volcans, c'est au moins la preuve géologique de l'action de forces de soulèvement sur la plus grande échelle.

Partout où il y a des dépôts de combustible minéral et de grandes quantités de matières organiques accumulées pendant quelque ancienne période de l'histoire de la terre, il y a dans le voisinage, soit des huiles, soit des minéraux schisteux. On trouve dans la plupart des houillères du monde des argiles bitumineuses, des calcaires et même des minerais de fer si parfaitement saturés de bitume, qu'ils produisent des huiles minérales par la distillation à une basse température. L'âge géologique de la houille importe peu. Le minéral bitumineux peut aussi être de toute sorte.

Si nous établissons une distinction entre le pétrole à l'état fluide ou épais, et entre les argiles bitumineuses, comme on les appelle, nous verrons que les sources d'huile minérale se produisent principalement en lignes parallèles à certaines grandes chaînes de montagnes. D'un autre côté, il est difficile d'établir un semblable rapport quant aux grands dépôts de bitume.

Les sources de pétrole, si abondantes dans la Caspienne, se continuent pendant une longue distance au pied du Caucase. Elles recommencent au pied des Carpathes et elles abondent en Galicie et en Valachie. Dans ces deux contrées, la quantité d'huile est probablement très-considérable. Nous perdons ces sources de vue quand les Carpathes se fondent dans les Alpes, mais nous les retrouvons quand les Apennins sortent des Alpes. On les rencontre quelquefois sur les flancs des Apennins, mais plus abondamment en France, où les Alpes viennent mourir dans les plaines. Elles accompagnent enfin les districts houillers du sud de la France.

Mais les sources, de beaucoup les plus abondantes, se trouvent dans l'Amérique du Nord.

D'un autre côté, les argiles bitumineuses les plus riches et les plus précieuses se trouvent dans certaines parties des houillères de l'Écosse, du Lancashire et de Flintshire, non loin d'éruptions basaltiques de date ancienne ou moderne, mais très-loin des grandes chaînes de montagnes et des axes de principal soulèvement. On trouve aussi de riches argiles bitumineuses dans d'autres houillères avec ou près des lignites. Je pourrais citer de nombreux exemples, à l'appui, en Europe. On en a tout récemment trouvé d'autres en Australie. On en connaît beaucoup en Asie et en Amérique, mais la plupart sont moins importantes. A peine pourrait-on citer une houillère qui ne soit pas accompagnée de roches bitumineuses. Ce rapport si universel, si répandu, doit avoir quelque signification distincte dans l'histoire de la terre.

Il semble certain que les hydrocarbones enfermés dans les couches de la terre et qui commencent seulement à être relâchés et rendus utiles, font partie de la grande histoire des métamorphoses et des changements qui ont affecté tous ces dépôts pendant tous les temps.

Digitized by Google

III. Dépôts organiques auprès des volcans de boue.

Les différents minéraux qui, sous les noms de pétrole, de naphte, de bitume, de cannel-coal et d'argiles bitumineuses, sont actuellement si recherchés et si précieux, ont, selon toute probabilité, tiré leur carbone de dépôts organiques. Leur hydrogène peut provenir, partie de l'excès d'hydrogène présent dans toutes les matières organiques, partie de la décomposition de l'eau. Dans les deux cas, leur histoire est liée à cette grande et systématique métamorphose induite et constamment en progrès dans l'intérieur de la terre. Il faut accepter comme explication générale des différents phénomènes une distillation lente de charbon ou de lignite effectuée avec comparativement peu de chaleur, et durant longtemps dans des circonstances favorables. Là où, comme à la Trinité, la quantité de bitume est si considérable et la production si récente que nous pouvons surveiller la tranformation, nous trouvons dans le voisinage de larges dépôts de lignite. Dans la mer Caspienne où l'écoulement du naphte est si énorme, et a continué sans interruption pendant au moins 2000 ans, nous trouvons aussi des lignites dans le voisinage. Sur toutes les rampes du Caucase, au pied des Carpathes et des Alpes, sur les Apennins, le même fait général est notoire. Il n'est pas toujours possible de tracer la position des couches de lignites affectées, mais il est hors de doute que les rochers avoisinants sont chargés de ce minéral. La houille tertiaire a dans ces pays été presque entièrement convertie en huile; si cette transformation ne s'est pas opérée au même point dans les houillères de l'Europe occidentale, le même résultat s'est tout au moins produit en partie; dans d'autres vieilles houillères, comme dans l'Amérique du Nord, l'épaisseur et l'étendue plus considérables du dépôt de houilles sont accompagnées par une production d'huile correspondante.

Il n'est pas difficile de comprendre que, tandis qu'une distillation lente à une basse température, capable de produire de l'huile minérale et de favoriser son absorption par les rochers, mais insuffisante pour causer la combustion, est très-compatible avec la présence de volcans de boue, l'effet d'éruptions volcaniques ordinaires répétées doive être de détruire les dépôts carbonifères en convertissant le tout en acide carbonique, en oxyde de carbone ou, peut-être plus rarement, par la combustion elle-même. Il est, dans tous les cas, certain, qu'alors que le pétrole ou le bitume accompagnent toujours les actions volcaniques lentes, telles que les volcans boueux, on les trouve plus rarement dans ou près les véritables volcans.

Il est inutile de faire remarquer que si l'on pouvait compter trouver invariablement des huiles minérales auprès de dépôts organiques, il serait facile de découvrir les endroits où le pétrole doit être présent. Selon notre expérience actuelle, les houilles et les lignites sont ordinairement accompagnées, soit d'argiles, de grès ou de calcaires bitumineux, soit de sources de pétrole. D'un autre côté, on ne trouve pas toujours des sources de pétrole auprès de houilles et de lignites. Il faut une autre condition, c'est-à-dire la disruption de couches ou quelque autre indication de mouvements souterrains, afin d'assurer l'action chimique importante qui préside à la formation des hydrocarbones.

IV. Résultats cosmiques.

Un fait certainement important, c'est que si de larges lignes ou ceintures étaient tirées sur la terre de façon à inclure : 1° Les différents points où l'on sait que des volcans de boue existent; 2° ceux où l'on peut observer des volcans actifs ou éteints, des cônes, des cratères ou des laves; 3° ceux qui sont remarquables par l'écoulement du naphte ou du pétrole à l'état liquide, ou du bitume solide; 4° ceux qui ont subi un soulèvement récent et systématique sur une grande échelle; et 5° ceux qui offrent des preuves de changements chimiques ou de métamorphoses récentes, tous ces points correspondraient, ou dans tous les cas présenteraient des rapports mutuels suffisants pour prouver que tous sont reliés les uns aux autres, et que les différents phénomènes doivent être produits par une seule et même cause. Il est aussi certain que cette cause a déterminé la forme entière et la position des terres sur le globe, qu'elle est par conséquent cosmique dans la plus stricte signification du mot, et non pas seulement locale, et qu'elle résulte de la constitution générale de la terre et de la nature des rapports entre la croûte extérieure et l'état de l'intérieur. Si cependant nous admettons ces axiomes, il en résultera que l'histoire géologique du monde, tout au moins depuis la fin de la seconde période jusqu'au temps actuel est un long chapitre non interrompu. Pendant tout, ou grande partie de cette période, il s'est produit une action souterraine continue le long de certaines lignes qui sont à la fois les axes géographiques et géologiques de notre globe, et qui, en somme, n'ont jamais changé. Une de ces lignes s'étend équatorialement sur une longueur de plusieurs mille milles à travers ce qui est actuellement l'Europe et l'Asie, et l'autre sur une même longueur, mais dans la direction du méridien à travers les deux Amériques. La force ainsi exercée a déterminé la forme principale des terres sur le globe par ses directions axiales, et c'est dans la même direction et dans les mêmes limites qu'ont agi les causes qui, certaines conditions étant données, ont produit les marbres, les schistes et les granits. Ces mêmes causes ont, dans certains cas, produit des volcans ou déposé des basaltes et des laves, et sur une plus petite échelle ont pu avoir des résultats tels que les volcans de boue, les dépôts de soufre et les sources de pétrole. Il est évident, je crois, que nous devons admettre un certain rapport entre tous ces résultats, et qu'ils influencent la question générale de l'histoire de la terre.

Il ne me semble pas probable qu'il ait pu exister pendant une longue période deux grands axes d'élévation tels que nous les reconnaissons sur la terre, si le globe avait été uniformément dans un état de fluidité ignée à une petite profondeur au-dessous de la surface, ou s'il y avait eu des soulèvements convulsifs et des mouvements souterrains, produits par un dérangement de l'axe de la terre, dérangement dû à une couche aussi insignifiante que la production accidentelle d'une calotte de glace à l'un des pôles, ou l'accumulation de dépôts par les courants au fond de l'océan. Une fluidité ignée uniforme à une petite profondeur semble peu consistante avec une action élévatoire longtemps continuée et affectant des surfaces opposées considérables de la croûte. Il doit y avoir eu action indépendante afin que les soulèvements dans les deux grands continents eussent une direction presque à angle droit l'un avec l'autre; or un dérangement de l'axe aurait affecté la terre entière de telle façon qu'il eût détruit la position de ces axes.

Tout ce que nous savons sur les éruptions volcaniques dans toutes les parties de la terre, et tous les faits qui indiquent la variété et la grandeur des troubles produits, tendent à prou-

Digitized by Google

ver que l'eau sous forme de vapeur est leur cause immédiate, et qu'il y a communication entre les volcans du même district, sinon du même hémisphère. Une éruption n'a jamais eu lieu sans l'évolution de quantités énormes de vapeur. Des jets de vapeur, se produisant à intervalles, sont les premiers phénomènes de l'action volcanique, que ce soit sur une petite ou sur une grande échelle. L'eau sort des volcans de boue. La présence de la soude, souvent à l'état de carbonate dans les laves, est un fait bien connu, et dont j'ai vu bien des exemples dans des éruptions récentes, et à l'Etna et au Vésuve. Le chlore est un gaz toujours présent pendant les premiers temps actifs d'une éruption. Ainsi il est plus que probable que l'eau de mer s'introduit dans les cavités où les éruptions prennent naissance ou que traversent les masses éjectées. Les substances éjectées par tous les volcans, les volcans de boue comme les autres, consistent en matériaux plus ou moins altérés des rocs adjacents. Les volcans boueux, outre de la boue, éjectent de l'oxyde de fer et même du lignite.

Quelle qu'ait pu être la cause originale qui a déterminé la direction des cavités à l'intérieur de la croûte de la terre, il semblerait qu'elles ne sont pas bien loin de la surface et qu'elles affectent seulement des espaces limités quoique fort étendus. L'entrée de l'eau de mer par des fissures naturelles dans de semblables cavités modérément échauffées suffit pour expliquer les phénomènes produits; c'est-à-dire le soulèvement des continents par l'action expansive de la vapeur, et l'interruption momentanée du soulèvement par des éruptions volcaniques, la vapeur trouvant ainsi une soupape partielle à travers des fissures produites pendant l'élévation. Sans aucun doute il faut, pour rendre cette explication suffisante, admettre que de semblables cavités s'étendent des milliers de milles au-dessous de la surface extérieure de la terre et ne sont pas à une profondeur trop considérable.

Je crois que soulèvement et dénudation sont probablement dus à l'eau et à la circulation de l'eau. On ne peut douter que pendant les éruptions et longtemps après chaque éruption, les vapeurs et les gaz, continuant à passer à travers les crevasses et les parois des rocs ne les modifient profondément et ne produisent d'énormes changements chimiques. C'est par rapport à des considérations de cette sorte que le sujet tout entier des métamorphoses appartient plutôt au chimiste géologue, qu'au seul géologue, et que ce dernier arrive difficilement à des résultats définis sans l'aide de la chimie. La production du pétrole est un exemple de ces nombreux changements. Un volcan de boue et la source de pétrole avoisinante sont produits par des éruptions de vapeur et de certains gaz qui passent à travers certains minéraux, l'argile schisteuse et le lignite par exemple. La vapeur est originellement à une haute température et en traversant des dépôts organiques se décompose elle-même, mais aussi elle décompose lentement et distille les matières organiques. Une partie du carbone se combine avec l'hydrogène mis en liberté, et une autre partie à l'oxygène. La vapeur décomposée du naphte et le gaz acide carbonique s'élevant ainsi vers la surface la vapeur d'eau et la vapeur de naphte se liquéfient en se refroidissant. Quand elles ont traversé de l'argile et non pas de la lave fondue elles se chargent de boue, et sont refroidies en approchant de la surface. Alors le volcan éjecte de la boue au lieu de vapeur chaude. Le jet est moins violent, l'éruption plus lente, mais plus continue. Partie du naphte flotte sur l'eau et partie est absorbée par les rocs traversés.

Il arrive souvent que de simples eaux chaudes ou sources thermales traversent des grès, des calcaires, ou des granits où il n'y a ni argile, ni lignite, ni houille. Dans ce cas, il se produit un volcan d'eau au lieu d'un volcan de boue, et il n'y a ni naphte ni bitume. Dans quelque cas aussi, le naphte est poussé à la surface, mais sans l'eau; ou bien encore l'huile minérale si elle ne peut parvenir à la surface pénètre les rochers et les rend bitumineux. C'est ainsi que se forment les argiles, les grès, les calcaires, ou même, comme à Paterno, les basaltes bitumineux, qui sont fort communs, mais rarement à un degré tel qu'on puisse les distiller.

Je crois donc que l'étude des volcans de boue et des dépôts de pétrole conduit à la conclusion qu'ils appartiennent à une grande série de mouvements systématiques, identiques avec ceux qui ont soulevé les grands continents, et que l'existence d'huiles minérales en grande quantité est déterminée par l'accumulation antérieure de dépôts organiques, et la métamorphose de ces dépôts sur les lignes d'action volcanique.

Quand la force volcanique s'exerce puissamment, et quand elle se produit de temps en temps à quelque point défini d'une grande surface, elle semble affecter avec une certaine régularité certaines parties du globe. Dans ces cas, la vapeur et les gaz dans leur passage à la surface rencontrent quelquefois des conditions qui rendent possible ou inévitable une lente distillation de matières organiques. Le résultat de cette distillation est la production du naphte ou du pétrole sous forme de sources ou de rochers bitumineux qui les imbibent. Pour connaître l'état probable d'un dépôt, il faut donc étudier au moyen de la sonde les conditions géologiques, car c'est seulement ainsi que nous pouvons déterminer où et comment on pourra trouver l'huile. D'un autre côté, il n'y a pas à douter que la connaissance pratique des localités dans lesquelles on a déjà trouvé l'huile ne vienne beaucoup en aide au géologue et au physicien; et nous pouvons espérer que des observations attentives rendront intelligibles des transformations encore mystérieuses.

Nota. Après avoir fait la conférence que l'on vient de lire, j'ai reçu du professeur Sylvestre de Catane une description détaillée de l'éruption de Paterno. L'eau boueuse à une température de 16 degrés centigrades avait une gravité spécifique de 1,1469, et donnait une réaction alcaline. Les matières marneuses en suspension formaient 12,63 pour 100 du tout. L'eau filtrée avait une G. S. de 1,053, le goût en était salé et légèrement amer. Elle contenait 6,84 pour 100 de sels solubles, comprenant des bicarbonates, des sulfates, des phosphates, des azotates (une trace), des chlorures, des bromures, des iodures et des fluorures. Les bases comprenaient le sodium, le potassium, le cæsium, le rubidium, le calcium, le magnésium, l'aluminium, le lithium et le fer; 6 pour 100 consistait en chlorure de sodium. Le gaz contenu dans l'eau était presque entièrement du gaz acide carbonique.

Les gaz éjectés étaient comme suit (moyenne de quatre analyses) :

	A la tempér. ordinaire.	A une haute tempér.
Acide carbonique	95,42	92,53
Oxygène	0,77	0,12
Azote	2,97	4,70
Hydrogène carburé	0,96	1,49
Hydrogène	0,55	0,99
Hydrogène sulfuré		0,30
	100,67	100,13

Il y avait aussi une petite quantité de vapeur de naphte.

D. T. ANSTED.

Traduit par E. BARBIER.

Digitized by Google

MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE.

PHYSIOLOGIE COMPARÉE.

COURS DE M. VULPIAN (1).

Digestion stomacale.

Nous connaissons maintenant, d'une façon générale, la conformation et la structure intime de l'estomac, il nous faut étudier les phénomènes dont cet organe est le siége. La théorie de la digestion gastrique n'est bien connue que depuis Réaumur et Spallanzani. Jusqu'à ces deux expérimentateurs, on avait attribué à toute autre cause les modifications subies par les aliments. C'était une putréfaction pour Hippocrate et Empédocle, une coction pour Galien, une fermentation pour Van Helmont, Sylvius, etc.; une trituration pour Erasistrate, et plus tard, au XVIIe siècle, les iatromathématiciens adoptèrent cette théorie.

La théorie générale ne se dégage qu'avec Spallanzani. On sait maintenant qu'il se passe dans cette digestion deux sortes de phénomènes, les uns essentiels, qui à eux seuls peuvent produire la digestion, comme le montrent les digestions artificielles, ce sont les phénomènes chimiques résultant de l'action du suc gastrique, les autres, encore très-importants, bien qu'accessoires, ce sont les phénomènes mécaniques dus à l'action de la tunique musculaire de l'estomac.

Je vous ai dit, en parlant de la structure de l'estomac, que, outre sa membrane muqueuse, qui devait attirer spécialement nos regards à cause de ses glandes, il existe une couche musculaire. Or, voici à quoi servent les fibres musculaires.

Après que les aliments sont entrés dans l'estomac, les deux orifices de cet organe se ferment. Le pylore est complétement obturé par les fibres circulaires de la tunique musculeuse, le repli pylorique empêche absolument les aliments de passer dans l'intestin; la route leur est aussi fermée du côté de l'œsophage par la contraction des fibres cardiaques. Ici il n'y a pas de valvule comme celle qui est constituée par le repli pylorique. Mais l'occlusion est obtenue par la contraction des fibres musculaires de l'estomac. Cette occlusion est rendue encore plus parfaite par la présence de fibres qui, venues de l'œsophage, s'épanouissent sur l'estomac et forment sur la petite courbure une bande musculaire qui a reçu le nom de cravate de Suisse. Grâce à ces moyens d'occlusion, les aliments sont forcés de séjourner dans l'estomac. Disons toutefois que ces orifices ne sont pas également infranchissables à tous les âges et chez tous les animaux. Chez les enfants, la régurgitation est assez fréquente et se fait sans effort. Au lieu de cela, chez le Cheval, par exemple, le vomissement est absolument impossible. Pour vous en convaincre, j'ai fait remplir d'eau un estomac de cheval : le pylore est solidement lié, mais le cardia n'est fermé que par les fibres musculaires; nous n'y avons pas appliqué de ligature. Vous voyez que, sans qu'il s'échappe une goutte de liquide, on peut surcharger cet estomac d'un poids très-considérable. Cependant les contractions du cardia ne s'observent pas à un même degré chez tous les animaux. Magendie et M. Longet ont noté des contractions rhythmiques de la partie inférieure de l'œsophage et de la portion cardiaque de l'estomac, contractions qui correspondaient surtout aux mouvements d'inspiration.

(1) Voy. les nos 32, 33, 37, 40, 44, 45, 46 et 47.

Quoi qu'il en soit de ces contractions, un fait est bien certain : les aliments ne peuvent de quelque temps sortir de l'estomac; même les actions causées par l'effort, actions qui s'exercent sur tous les viscères, ne peuvent pas d'ordinaire les faire remonter dans l'œsophage. Mais les aliments ne restent pas en repos dans la poche stomacale, les contractions de la tunique musculeuse les brassent constamment. Ils parcourent l'estomac en suivant une route bien déterminée. Ils gagnent d'abord le pylore en suivant la grande courbure de l'estomac. Ce sont là les mouvements péristaltiques ; puis ils reviennent le long de la petite courbure vers la région cardiaque, ce sont les mouvements antipéristaltiques. Ces mouvements ont été bien observés par le docteur William Beaumont sur un Canadien qui, à la suite d'une blessure d'arme à feu, fut atteint d'une fistule à l'estomac. Cet homme a été un sujet très-précieux pour l'observation des phénomènes de la digestion gastrique, et bien des fois le nom de W. Beaumont, qui l'a observé, reviendra dans le cours de nos leçons. En introduisant un thermomètre par l'ouverture de la fistule, W. Beaumont a vu la boule entraînée dans le sens que j'ai indiqué plus haut.

Cependant ces mouvements avaient été niés par Müller et d'autres physiologistes ne les avaient pas trouvés assez apparents pour les admettre définitivement. Cela tient sans doute à la période dans laquelle avaient été faites leurs observations. M. Longet professe que ces mouvements ne s'exécutent d'une façon bien nette que lorsque l'estomac est rempli d'aliments, et je puis dire que je me suis assuré par moi-même bien des fois que cette assertion est très-exacte, en ce qui concerne le Chien surtout. Enfin, je dois aussi mentionner l'opinion de Hunter, qui, au lieu de cette direction, croyait que les aliments étaient entraînés dans l'estomac par un mouvement spiroïde. Il s'appuyait sur la conformation de ces boules dont je vous présente un échantillon. On les nomme *égagropiles*. On les trouve dans l'estomac des Ruminants, elles sont constituées par les poils que l'animal avale en se léchant, et qui, par les mouvements de l'estomac, sont assemblés en une masse feutrée, sphéroïdale, emprisonnant des parcelles alimentaires. Mais l'argument sur lequel Hunter appuyait son opinion est loin d'avoir la valeur qu'il lui attribuait, et aucune observation directe n'est venue confirmer cette hypothèse. On comprend ces hésitations d'observateurs les plus exercés, lorsqu'on examine l'estomac d'un animal en pleine digestion. Voyez sur ce Chien : ces mouvements n'ont pas la précision à laquelle on pourrait s'attendre d'après certaines descriptions. Sans doute, le sens général du mouvement est celui qui a été indiqué, mais au lieu de se faire par un transport en masse des aliments, on voit sur les parois stomacales une bosselure qui s'efface et se reproduit à côté, et il faut une certaine attention pour démêler le sens définitif dans lequel se fait ce mouvement.

En résumé, il se fait donc un mouvement de circulation des matières en digestion dans l'estomac, une sorte de cyclose; mais ce mouvement n'est pas le seul; à dater d'une certaine période de la digestion, il se produit un mouvement franchement péristaltique qui pousse les aliments vers le pylore. Alors les fibres musculaires de ce sphincter se relâchent, la valvule s'ouvre, et les aliments franchissent cette ouverture pour gagner les intestins.

Chez le Cheval, les mouvements péristaltiques de la portion pylorique de l'estomac sont très-manifestes, et se pro-

Digitized by Google

duisent non-seulement à ce moment de la digestion et pendant la vie, mais même après la mort, et alors que cette portion de l'estomac est détachée du reste de l'organe. J'ai pu faire une observation de ce genre il y a peu de jours. J'avais pris sur un Cheval qui venait d'être abattu le tiers pylorique de l'estomac, avec une petite partie du duodénum et le pancréas. Cette partie des organes digestifs étant placée sur une table, je constatai aussitôt des mouvements péristaltiques presque rhythmiques, qui commençaient dans la paroi de la portion de l'estomac que j'avais sous les yeux et se propageaient au duodénum. Ces mouvements, qui se renouvelaient spontanément toutes les deux ou trois minutes, étaient très-énergiques. Au bout d'un quart d'heure au moins, ils cessèrent de se produire spontanément ; mais il suffisait alors de toucher la membrane muqueuse de la portion pylorique de l'estomac pour provoquer un nouveau mouvement péristaltique et très-complet, s'étendant, comme auparavant, au pylore et au duodénum. On peut exciter des mouvements de ce genre, mais de plus en plus faibles, pendant quatre heures environ. On laissait toujours un intervalle de plusieurs minutes entre deux excitations successives. A plusieurs reprises, il y avait eu un mouvement de contraction concentrique très-prononcé dans la terminaison du conduit cholédoque, au moment où le duodénum se contractait.

Ce sont là les divers mouvements qui se manifestent dans l'estomac pendant la période de digestion gastrique; mais il ne faudrait pas croire que chez les Mammifères et chez l'Homme ces mouvements soient autre chose qu'une condition adjuvante. Il ne se produit pas, en effet, chez ces animaux, de trituration. C'est par suite de l'hypothèse sans base qui avait attribué à l'estomac des Mammifères une puissance triturante regardée par certains auteurs comme la cause réelle des métamorphoses subies dans l'estomac, que les iatromathématiciens du XVIe siècle avaient doué l'estomac de l'Homme d'une force vraiment effroyable. Pitcarn croyait que la puissance musculaire de l'estomac égalait 12 951 livres. Ce chiffre doit vous paraître monstrueux, cependant cette évaluation fut exagérée par Fracassini qui la porta à 117 088, et enfin par Wainewright, qui arriva à 260 000. Ne croyez pas que ce fut un chiffre de fantaisie. Ces auteurs croyaient leurs calculs très-exacts, et il est assez curieux de voir comment ils avaient obtenu de semblables nombres. Ils prenaient un muscle quelconque, voyaient combien il pouvait supporter, puis le pesaient, d'autre part pesaient l'estomac, et avec ces trois termes de leur proportion, ils établissaient la puissance musculaire de l'estomac. Il me suffit de vous énoncer le procédé pour faire justice de semblables données.

Si une pareille action doit être absolument refusée à l'estomac des Mammifères, il n'en est pas de même pour les Oiseaux granivores. Chez ces derniers, il s'exécute dans le gésier un acte très-important pour la digestion : la trituration des graines. Les parois du gésier des Oiseaux granivores peuvent développer, en se contractant sur le contenu de cette poche, une force considérable. Cette puissance du gésier avait été entrevue déjà par Swammerdam, qui avait observé qu'un doublon d'or avalé par un Oiseau avait perdu 16 grains de son poids. Au XVIIe siècle, l'Académie del Cimento fit des expériences en faisant avaler par des Oiseaux des balles de métal, des sphères creuses de verre et de cristal. Ces expériences et celles qui furent faites par Redi et par Magaloti firent voir que les balles de plomb étaient froissées, plus ou moins aplaties; que les sphères creuses de verre et de cristal étaient broyées par les contractions du gésier. Réaumur fit aussi des recherches du même genre; des lames, des tubes de fer, furent tordus ou brisés par le gésier. Il constata qu'on pouvait entendre le bruit produit par l'écrasement de noisettes qu'il faisait avaler à des Oiseaux : c'est là un fait que j'ai pu facilement vérifier, et dont je vous rendrai témoins dans une de nos prochaines réunions. Enfin, Spallanzani, voyant ces résultats mis en doute, crut devoir les reproduire aussi. Il ne s'en tint pas là d'ailleurs, et, pour savoir jusqu'à quel point la couche cornée épidermoïde qui tapisse l'intérieur du gésier protége cet organe contre les corps vulnérants qui y sont introduits, il fit avaler à des Oiseaux granivores différents objets pointus, puis des balles de plomb hérissées d'aiguilles ou de lancettes, et il reconnut que, presque toujours, ces aiguilles et ces lancettes étaient brisées sans que la paroi du gésier en fût blessée.

Ces expériences, et d'autres dont je vous parlerai bientôt, ont démontré que chez les Oiseaux granivores les graines sont soumises dans le gésier à une véritable trituration, sorte de mastication intra-gastrique qui permet au suc gastrique d'agir plus facilement sur elles.

En voyant des graines résistantes et des corps bien plus durs, des tubes de verre ou de métal être broyés par le gésier, on s'attendrait à observer des mouvements très-manifestes, très-étendus, dans les parois musculaires de cet organe ; et cependant, le plus souvent, lorsqu'on cherche à étudier ces mouvements après avoir mis le gésier à découvert, sur des oiseaux vivants, on n'aperçoit point de contractions énergiques. Elles peuvent même être si obscures, que des expérimentateurs n'ont pu les constater. On arrive pourtant à les bien voir si l'on excite la surface du gésier, soit en y passant brusquement une pointe mousse en travers, soit en employant les courants galvaniques. J'ai fait plusieurs fois l'expérience, et j'ai vu la paroi se déprimer lentement dans l'endroit excité et le gésier changer un peu de forme. On détermine facilement aussi des contractions en galvanisant les nerfs vagues à la région du cou. Si l'on fait une incision du gésier peu étendue en longueur, mais pénétrant jusque dans sa cavité, et si l'on y introduit l'extrémité d'un doigt, on sent que le gésier se resserre sur le doigt quelques instants après qu'on a fait passer le courant par les nerfs ; mais je dois ajouter que le doigt est pressé beaucoup moins vigoureusement qu'on serait tenté de le supposer.

C'est encore parmi les phénomènes résultant du rôle mécanique de l'estomac qu'il faut ranger ces mouvements si remarquables dont l'ensemble constitue l'acte de la rumination. La rumination qui existerait, d'après plusieurs auteurs, chez la Carpe et chez d'autres Cyprins, et qu'Aristote signalait chez les Scares, n'offre des caractères bien dessinés, à l'état normal, que chez les Mammifères désignés à cause de cela sous le nom de Ruminants. A l'état morbide, on sait que chez l'Homme il peut se faire une sorte de rumination que l'on nomme mérycisme. Mais je ne veux vous parler que de la vraie rumination normale.

Lorsque je vous parlais des estomacs complexes, je vous disais que les Ruminants avaient quatre poches. La première s'appelle la panse, herbier ou rumen, qui, comme vous le voyez sur cet estomac de Mouton, est caractérisée par la présence d'une foule énorme de papilles. Après la panse vient le bonnet, ou réseau, dont la face interne est garnie de replis

Digitized by Google

hexagonaux comme une ruche d'Abeilles; ensuite vient le feuillet dont les nombreux replis lui ont fait donner les noms de psautier et de mille-feuilles, et enfin la caillette qui offre la véritable apparence d'un estomac. La panse a une capacité énorme. D'après M. Colin, elle peut contenir, chez un bœuf à jeun depuis vingt-quatre heures, de 50 à 75 kilogrammes de matière alimentaire, dont les deux tiers sont constitués par du liquide.

Jusqu'aux expériences faites par M. Flourens en 1831, sur le Mouton, on n'avait que des données très-obscures sur la rumination. Voyons en quoi consiste le phénomène avant d'en chercher le mécanisme. L'œsophage, comme vous pouvez le voir, se continue jusqu'au feuillet en passant au-dessus de la panse et du bonnet. Lorsque le Ruminant prend son repas, il confectionne ses bols alimentaires avec ses aliments grossièrement mâchés. Ces bols arrivent au niveau de la panse, écartent les bords de la gouttière et tombent dans cette première poche et dans le bonnet. Lorsque ces deux premières poches sont ainsi remplies l'animal s'accroupit; alors on voit un frisson agiter ses flancs, puis un mouvement ondulatoire parcourt le cou, et bientôt l'animal se met à mâcher. Ici se présente une première difficulté. Comment se forme cette pelote alimentaire qui remonte ainsi dans la bouche.

Daubenton attribuait au bonnet la confection de ces pelotes, mais on ne saurait admettre cette idée lorsque l'on compare la dimension de ces pelotes dont je vous montre ici un échantillon, et qui est de la grosseur d'un œuf de Pigeon, si l'on compare, dis-je, cette pelote avec les dimensions du bonnet. Du reste, M. Flourens a fait une expérience directe, il a excisé le bonnet et la rumination a continué. Cl. Perrault et d'autres ont pensé que les lèvres de la gouttière œsophagienne pouvaient saisir comme une sorte de pince contractile une petite portion de matières contenues dans les deux premiers estomacs et les forcer de remonter dans l'œsophage, et de là dans la bouche. Mais pour ruiner cette théorie, M. Colin a introduit son bras dans la panse et a cousu les bords de la gouttière au-dessus du bonnet. Malgré cette oblitération, la rumination avait encore lieu.

M. Flourens a émis l'opinion que ces pelotes étaient prises sans doute par les bords d'un orifice formé par le rapprochement des ouvertures cardiaques et pyloriques et les lèvres de la fente. Pour M. Colin, ce serait le relâchement du cardia et une brusque injection d'une petite quantité de matière alimentaire très-fluide fournie par la panse et le bonnet, ce dernier contenant presque toujours du liquide qu'il lance dans l'œsophage en même temps que la panse y fait passer une petite quantité de matières plus ou moins solides. Est-ce là le véritable mécanisme par lequel les aliments contenus dans la panse et dans le bonnet remontent dans la cavité buccale? Je crois que de nouvelles expériences seraient nécessaires pour répondre nettement à cette question.

La rapidité avec laquelle les aliments remontent dans la bouche est une preuve de la vive contractilité de l'œsophage. Du reste, l'estomac ne suffit pas pour produire la rumination, il faut le concours des muscles abdominaux et du diaphragme. Ce qui le prouve, c'est qu'en coupant les nerfs phréniques, on rend la rumination plus difficile, et en coupant la moelle vers la sixième vertèbre dorsale, on arrête le phénomène, ainsi que l'a montré M. Flourens. En faisant cette section, on paralyse les muscles dont le concours assure la rumination. Enfin, il nous faut aussi mentionner l'influence de l'action réflexe. Lorsque l'on coupe les nerfs pneumogastriques, on arrête la rumination en enlevant à la muqueuse sa sensibilité. M. Colin a montré aussi que la salive était indispensable à la production de ce phénomène, elle ne s'effectue pas lorsqu'on a lié les canaux salivaires. Lorsque les aliments reviennent dans la bouche, il se fait une nouvelle sécrétion de salive, mais il est vrai de dire que cette fois c'est la salive parotidienne qui est sécrétée. Tandis qu'à la première, c'est surtout la salive des glandes sous-maxillaires.

Lorsque les aliments sont réduits par cette seconde mastication à l'état de bouillie sans consistance, ils ne peuvent plus écarter les lèvres de la gouttière œsophagienne, et ils vont alors jusqu'au feuillet, et de là dans la caillette, pour y être modifiés par le suc gastrique.

Tel est le phénomène que l'on observe dans toute la classe des Ruminants. Certains groupes présentent de légères modifications. Chez les Caméliens, par exemple, le feuillet est peu distinct de la caillette extérieurement. A la panse se trouvent surajoutées d'énormes boursouflures correspondant à des loges membraneuses, dont les cloisons contiennent des fibres musculaires, et qui peuvent s'ouvrir et se fermer suivant les besoins de l'animal. Il y a sur chaque compartiment de la panse un groupe de ces boursouflures. L'un de ces groupes surtout est considérable; Daubenton le nommait le réservoir, et c'est cette disposition qui avait fait donner par quelques auteurs, aux Caméliens, cinq estomacs. Ce sont de véritables poches aquifères, et il faut y ajouter le bonnet, qui a la même conformation que les parties boursouflées de la panse, et qui a sans doute le même usage. Il y a ainsi chez les Caméliens près de huit cents cellules dans lesquelles les aliments solides ne pénètrent pas, et qui peuvent contenir jusqu'à 5 litres de liquide.

J'aurais encore à vous parler du vomissement, mais chez les animaux supérieurs c'est un acte qui rentre plutôt dans le domaine de la pathologie que dans celui de la physiologie; aussi le laisserai-je de côté pour arriver immédiatement aux phénomènes chimiques de la digestion stomacale.

II. *Étude du suc gastrique en lui-même. Ses caractères physiques et chimiques. Son action sur les aliments.*

La salive qui imbibe les aliments continue son action dans l'estomac, mais nous n'avons pas à revenir sur ce sujet, et nous n'avons plus à parler que des effets produits sur les substances alimentaires par l'action du suc gastrique, liquide spécial sécrété par les glandes dont je vous ai décrit plus haut la structure.

Les phénomènes dus à l'action de ce liquide ne sont pas connus depuis fort longtemps. Les premières expériences positives sont dues à Réaumur qui, en 1752, publia deux mémoires sur la digestion des Oiseaux, l'un sur la digestion des Oiseaux à gésier, l'autre sur la digestion des Oiseaux de proie. Le premier, Réaumur eut l'idée de faire avaler des tubes métalliques percés de trous ou bien ouverts aux deux extrémités et munis seulement d'une sorte de grillage de fer.

Les expériences l'avaient conduit à une conclusion erronée pour les Oiseaux à gésier : en ouvrant les tubes remplis de grains d'orge, il avait vu qu'ils n'avaient subi aucune modification; il en conclut que la trituration était l'agent de la digestion chez ces animaux. Il pensait que cette action mécanique était produite par la contraction énergique des parois

Digitized by Google

du gésier, et que cet effet était favorisé par la présence constante de petits cailloux dans cette poche stomacale. Cette déduction lui avait semblé d'autant plus légitime, qu'une expérience incomplète lui avait donné à penser que les morceaux de viande placés dans les mêmes conditions ne se digéraient pas. Pour les Oiseaux de proie, il avait bien vu. La viande enfermée dans ces tubes se digérait très-bien, et il avait alors cru que si la digestion chez les Oiseaux granivores se fait par trituration, chez les Oiseaux de proie elle se fait par l'action du suc gastrique. Là ne s'arrêtèrent pas les recherches de Réaumur : le premier, il eut l'idée des digestions artificielles, mais il n'obtint presque rien. Il se procurait du suc gastrique en faisant avaler à des Buses des éponges enfermées dans des tubes ou libres que les animaux rejetaient ensuite comme des substances indigestes. En 1777, un médecin écossais, Stevens, voyant un bateleur avaler sur la place publique des pierres qu'il vomissait ensuite, eut l'idée de remplacer ces pierres par des petites sphères de métal percées de trous et remplies de viande. Il put ainsi s'assurer que les substances alimentaires étaient rejetées après avoir été modifiées par le suc gastrique, il répéta ensuite ces expériences sur des Chiens. Des recherches commencées en 1777, mais publiées seulement en 1783, conduisirent Spallanzani à reprendre les expériences de Réaumur, seulement il les poussa bien plus loin. Il fit avaler à des Oiseaux à gésier des tubes percés de trous et remplis de graines non concassées; dans ce cas il n'observa pas la moindre digestion. Il plaça ensuite dans ces tubes des graines concassées, qui, cette fois, furent digérées. Il fit la même expérience sur des morceaux de pain et sur de la viande. Ensuite il recueillit du suc gastrique dans le gésier de plusieurs oiseaux, et fit des digestions artificielles. Pour maintenir ces tubes contenant des substances alimentaires et du suc gastrique à une température normale, il plaçait ces tubes sous ses aisselles. Enfin il chercha à démontrer, par des expériences très-bien conduites, que la présence des petites pierres dans le gésier des Oiseaux granivores n'était pas indispensable à leur digestion.

Des expériences analogues faites sur des Corneilles, des Hérons, sur de Oiseaux de proie diurnes et nocturnes, lui donnèrent toujours les mêmes résultats. Spallanzani expérimenta sur des Mammifères; enfin il se soumit à l'expérimentation : il se fit vomir en plaçant ses doigts au fond de la bouche quelque temps après son repas; puis il avala des tubes de bois percés de trous, remplis de matières alimentaires et recouverts d'un sac de toile. Ces expériences établirent d'une façon décisive que la digestion stomacale était due à l'action du suc gastrique.

Depuis ce temps-là, de nombreux travaux furent faits pour étudier l'action du suc gastrique. En même temps à peu près que Spallanzani, Gosse (de Genève) donna des résultats intéressants sur la digestibilité des aliments. Les observations étaient faites sur lui-même. Il se faisait vomir en avalant de l'air. Jenin de Montegre, en 1814, veut se procurer du suc gastrique en vomissant à jeun; il répéta les expériences de Spallanzani, et comme il n'obtint aucun résultat probant, il refusa au suc gastrique tout pouvoir digestif. Tiedemann et Gmelin s'y prirent d'une autre façon pour se procurer du suc gastrique. Ils firent avaler à des Chiens des cailloux, du poivre grossièrement concassé, et par ce moyen, ils activaient la sécrétion, puis ils sacrifiaient l'animal et recueillaient le suc sécrété. William Beaumont vient ensuite en 1835, et j'ai déjà eu l'occasion de vous dire combien furent intéressantes les observations qu'il recueillit sur son Canadien blessé. Un fait analogue fut observé plus tard par M. Schmidt à Dorpat, et donna lieu à des travaux de ce physiologiste et de ses élèves Schrœder et Grunewaldt.

Enfin, en 1842, un médecin russe, M. Bassow, fit le premier des fistules à des chiens, et l'année suivante, M. Blondlot (de Nancy), sans connaître les résultats obtenus par cet expérimentateur, eut aussi l'idée d'établir des fistules gastriques: il y réussit, et l'on peut dire que ce sont ses travaux qui ont fait entrer cette opération dans la pratique la plus usuelle de la physiologie expérimentale. Il y a diverses manières d'établir ces fistules. Voici le procédé que nous avons employé sur le Chien que je présente. Sur un Chien en pleine digestion, on pratique une incision qui, partant de l'appendice xiphoïde, se dirige du côté du pubis. Cette incision doit avoir environ 8 centimètres. On ouvre le péritoine et l'on refoule les intestins avec précaution, de peur de les blesser, alors on aperçoit l'estomac, on le saisit dans les environs du cul-de-sac de la grande courbure, on l'attire vers la plaie et on le traverse avec une aiguille qui porte un fil d'argent. Puis on ferme la plaie par quelques points de suture, mais on fixe les deux bouts de l'anse du fil métallique, au dehors de la plaie, en les tordant au-dessus d'un petit morceau de bois. De cette façon, l'estomac contracte des adhérences avec les parois abdominales, et à la suite de l'eschare, il reste une fistule. Alors on fixe dans cette fistule une canule d'argent pour ne pas laisser le suc gastrique se perdre. Les Chiens supportent en général très-bien cette opération. Au lieu d'opérer ainsi en deux temps, M. Cl. Bernard fait une ponction à l'estomac sur un Chien qui vient de faire un copieux repas, et il y place immédiatement la canule, dont il maintient le rebord externe hors de la plaie de l'abdomen.

On peut aussi se procurer du suc gastrique artificiel comme pour la salive, en faisant macérer dans l'eau la muqueuse stomacale. C'est à Eberle que l'on doit ce procédé qui a un avantage physiologique dont je vous ai déjà entretenus. On peut comparer ainsi l'état des glandes pepto-gastriques pendant les repas, et dans l'état de jeûne; de plus, cette macération des diverses parties de la muqueuse permet de distinguer les unes des autres les glandes qui sécrètent le mucus de celles qui donnent du suc gastrique. Lorsqu'on a obtenu ainsi du liquide stomacal, on peut, comme l'a fait la première fois Wasmann, isoler le principe actif spécial du suc gastrique, la pepsine. Il suffit pour cela de précipiter par l'alcool l'acide de ce suc, et en traitant ensuite par le lavage, on obtient une substance qui peut, après dessiccation, se dissoudre de nouveau et servir à fabriquer du suc gastrique artificiel.

Mais ce sont surtout les recherches de M. Bassow et celles de M. Blondlot qui ont rendu le plus de services à la physiologie, à cause des études intéressantes qu'elles ont permises. On a pu, en pratiquant ainsi des fistules sur les animaux, constater que, pendant l'abstinence, l'estomac est vide et ne contient que de la salive plus ou moins altérée, du liquide pharyngien et œsophagien, et du mucus qui donne à la muqueuse une coloration grisâtre. Du reste, cette muqueuse est pâle, exsangue, et le liquide qui la recouvre présente parfois une réaction alcaline. Dès que les aliments sont introduits dans l'estomac, la muqueuse rougit, se gonfle, et le suc gastrique paraît à l'état de fines gouttelettes. Du reste, en même temps, on voit que les glandes à mucus ne restent pas inac-

Digitized by Google

tives et sécrètent du mucus. Tel est l'excitant normal de la sécrétion gastrique, mais on peut la provoquer aussi par des excitants mécaniques. Soit en faisant avaler des pierres à l'animal, comme faisaient Tiedeman et Gmelin, soit en introduisant, comme Beaumont, des sondes par la fistule de son Canadien, soit en employant l'électricité comme l'a fait M. Longet, à l'aide d'un courant galvanique saccadé et fréquemment interrompu. Cependant, ces excitations mécaniques ne donnent pas du suc gastrique en aussi grande quantité que l'introduction des aliments, aussi Blondlot croit qu'il y a lieu d'admettre une certaine sensibilité non perçue, mais susceptible de provoquer des réactions adaptées. Ce serait là un exemple de la sensibilité organique que Bichat voulait admettre. Mais il y a en tout cas une raison dont il faut tenir compte aussi. Lorsque l'on cherche à irriter la muqueuse stomacale avec une sonde ou un autre corps introduit par une fistule stomacale, on irrite une portion très-restreinte de la muqueuse stomacale. Il en est de même lorsqu'on agit avec des cailloux : les points de contact du bol alimentaire sont bien plus nombreux, par conséquent bien plus efficaces. Cependant il est bon d'ajouter que, lorsque l'irritation est trop vive, elle peut causer de la douleur, comme Beaumont et M. Cl. Bernard l'ont observé, et dans ce cas, il y a arrêt de la sécrétion.

Certaines substances introduites par la bouche ou par une fistule gastrique sont susceptibles d'activer la sécrétion. Parmi ces substances, il faut citer les alcalins. Au contraire, les acides faibles dépriment le travail sécrétoire. D'après les recherches de M. Lucien Corvisart, la glace prise à petite dose, ou simplement l'eau à basse température, les liqueurs alcooliques peu concentrées, les vins, l'infusion de café, quelques infusions aromatiques, l'émétique, le poivre, les substances purgatives, excitent à un haut degré la sécrétion gastrique. Mais le froid exagéré l'arrête. Les corps sapides, en agissant sur le goût, provoquent une sécrétion abondante de suc gastrique, par une influence réflexe agissant sur les glandes pepto-gastriques. Si l'on place directement dans l'estomac, par une fistule, une dose de sucre, même si, avant d'introduire le sucre dans la fistule, on l'imbibe de salive, on ne provoquera pas une sécrétion de suc gastrique aussi abondante que si la même quantité de sucre a été mise dans la cavité buccale. Du reste, la vue ou l'odorat peuvent aussi être une source d'excitations de la sécrétion gastrique. L'exagération se produit alors en vertu d'un phénomène réflexe dont nous étudierons le mécanisme en traitant de l'influence du système nerveux sur la sécrétion gastrique. Pendant que l'estomac sécrète ainsi du suc gastrique, sa température ne varie point, comme l'a montré Beaumont. Cependant, à priori, il eût semblé que l'on dût remarquer une élévation de température pendant ce travail sécrétoire comme pour les autres glandes.

Mais, en dehors de ces excitations qui font affluer plus ou moins le suc gastrique, il est intéressant de savoir quelle est la quantité normale de ce liquide qui est sécrété. Cette quantité est très-difficile à évaluer; car c'est une sécrétion essentiellement intermittente et qui varie suivant la quantité d'aliments qui est ingérée, suivant la nature de ces aliments et aux diverses périodes de la digestion. D'après M. Lehmann, il y aurait chez le Chien un dixième de poids du corps de suc gastrique de sécrété en vingt-quatre heures. Suivant M. Lucien Corvisart, 50 à 60 grammes par kilogramme du poids du corps. Dans leurs premières recherches, MM. Bidder et Schmidt avaient évalué cette quantité à 100 grammes par kilogramme du poids du corps, ce qui donnerait chez l'Homme environ 6 kilogrammes en vingt-quatre heures. Dans les observations plus récentes faites par M. Schmidt sur la femme ayant une fistule gastrique, il a compté 580 grammes par heure, ce qui ferait 14 kilogrammes par jour, environ un quart du poids du corps.

Vous voyez que ces chiffres varient suivant les différents expérimentateurs. Les chimistes ne sont pas non plus parfaitement d'accord pour l'analyse du suc gastrique. Voici le résultat de l'analyse du suc gastrique sur le Chien par M. Schmidt. Sur 1000 parties ce liquide contient :

Eau	973,062
Matière organique	17,127
Acide chlorhydrique libre	3,030
Chlorure de potassium	1,125
Chlorure de sodium	2,507
Chlorure de calcium	0,624
Chlorhydrate d'ammoniaque	0,468
Phosphate de chaux	1,729
Phosphate de magnésie	0,226
Phosphate de fer	0,082
	1000,000

C'est le résultat de neuf analyses faites après avoir lié les conduits salivaires pour se procurer du suc gastrique aussi pur que possible.

Le suc gastrique est un fluide presque incolore, limpide, d'une saveur aigrelette et salée. Son odeur spéciale varie suivant les animaux qui l'ont fourni. Il se trouble un peu par l'ébullition et alors devient inactif. Sa densité est de peu de chose supérieure à celle de l'eau.

Un de ses caractères les plus remarquables, c'est d'être constamment acide, à des degrés différents, il est vrai. Cependant cette acidité a été niée par Spallanzani et d'autres auteurs. Sans doute parce que la réaction avait été cherchée chez des animaux à jeun.

C'est ce qui avait conduit Gosse à croire que le suc gastrique est acide chez les Herbivores et alcalin chez les Carnivores. Dumas (de Montpellier) était également tombé dans cette erreur. Il croyait que par l'alimentation on pouvait modifier la réaction du suc gastrique. Enfin Schultz pensait que la réaction normale du suc gastrique était une réaction neutre et que, si elle devenait acide, c'était un résultat de la digestion. Mais il est un fait constant, c'est que si le contenu de l'estomac est parfois neutre ou alcalin, la muqueuse elle-même est toujours acide au niveau des glandes pepto-gastriques. Tel est le résultat constant auquel on est parvenu, grâce aux travaux de MM. Leuret et Lassaigne et à ceux de MM. Tiedemann et Gmelin.

La réaction acide de la membrane muqueuse de l'estomac n'existe pas seulement chez les animaux de toutes les classes des Vertébrés ; on peut la constater aussi chez les Invertébrés, comme on l'a déjà signalé, et comme j'ai pu le constater moi-même sur l'Écrevisse et sur l'Escargot (*Helix pomatia*). J'ai cherché, à plusieurs reprises, à m'assurer s'il en était de même chez les animaux d'une organisation très-inférieure, chez le Polype d'eau douce, par exemple ; mais je n'ai obtenu aucun résultat bien net. Exceptionnellement, j'ai vu la sécrétion gastrique n'avoir pas une acidité reconnaissable. Ainsi, ayant placé des larves de *Corethra plumicornis* dans de l'infusion bleue de tournesol, j'ai pu m'assurer qu'elles avaient, au bout de deux ou trois jours, le canal digestif rempli de ce

Digitized by Google

liquide, qui y était agité par des mouvements péristaltiques et antipéristaltiques presque continuels, de sorte qu'il passait ainsi sous mes yeux d'une des parties du canal digestif dans la partie suivante. Chez aucune des larves mises en expériences ce liquide n'avait perdu sa couleur bleue pour virer au rouge. C'est là d'ailleurs un fait exceptionnel jusqu'ici; car, ainsi que je viens de le dire, on a trouvé le suc gastrique acide chez tous les autres animaux qu'on a étudiés à ce point de vue.

Mais il reste un fait controversé, c'est la nature de l'acide auquel l'estomac doit cette réaction. Depuis que M. Chevreul a signalé la présence de l'acide lactique dans le liquide expulsé de l'estomac de l'Homme par régurgitation volontaire, des physiologistes, et entre autres MM. Leuret et Lassaigne, ont montré sa présence dans le suc gastrique. Mais, pour W. Prout et pour M. Schmidt, ce serait l'acide chlorhydrique, et vous pouvez voir dans l'analyse que je viens de mettre sous vos yeux que ce dernier en a trouvé jusqu'à trois millièmes chez le Chien. Enfin, pour M. Blondlot, ce serait le phosphate acide de chaux qui serait l'acide du suc gastrique. Ce dernier acide existe sans doute souvent chez cet animal, mais sa présence, loin d'être le produit de la sécrétion de la muqueuse, paraît tenir à des circonstances étrangères à la sécrétion et dépend en particulier de la digestion antérieure des os.

De tous les travaux entrepris sur ce sujet il résulte que le suc gastrique paraît contenir un principe acide libre, et que l'acidité serait même due à deux acides : l'acide chlorhydrique et l'acide lactique. Peut-être le premier de ces acides ne serait-il pas absolument libre, mais serait-il engagé dans une combinaison très-faible avec la pepsine dont nous allons parler. Ce qui constituerait l'acide chlorhydro-peptique de M. Schiff. Ce qui avait donné une grande importance à la présence de l'acide chlorhydrique à l'état libre, c'est qu'on avait pu croire un moment que l'action spéciale du suc gastrique était due à cet acide, et cette théorie était basée sur une expérience de MM. Bouchardat et Sandras. Ces deux expérimentateurs avaient montré que, même à la dose minime d'un demi-millième dans l'eau, l'acide chlorhydrique dissout la fibrine et la musculine. Mais cette assimilation n'avait, d'ailleurs, rien de fondé, car l'acide chlorhydrique affaibli n'a aucune action sur la chair musculaire cuite, et, d'ailleurs, la fibrine se gonfle et se change en gelée tremblotante avant de se dissoudre dans l'acide.

Il fallait, pour la digestion, un autre agent que l'acide chlorhydrique; cet agent spécial est la pepsine. Elle fut découverte par Schwann, qui avait le premier prouvé qu'il devait y avoir un principe spécial du suc gastrique; mais elle ne fut isolée que par Wasmann en 1839. C'est une matière albuminoïde d'une réaction acide, qui ne peut être coagulée ni par la chaleur ni par les acides, mais qui peut l'être par le tannin et par le bichlorure de mercure; en la traitant par ces corps, on lui fait perdre ses propriétés, mais, en la coagulant par l'acétate de plomb, elle conserve toutes les propriétés que lui fait perdre également l'ébullition et même la chaleur au delà de 45 degrés. On peut l'obtenir directement, comme l'a montré M. Payen, en la précipitant par l'alcool absolu. Il est impossible de donner une formule de sa composition chimique. C'est une substance non définie et toujours mêlée à d'autres matières. Une de ses propriétés remarquables, c'est de coaguler la caséine du lait même en présence d'un excès d'alcali; mais ce qui surtout le caractérise, c'est qu'elle est la substance active du suc gastrique pour la digestion des matières albuminoïdes. En dissolvant de la pepsine en poudre dans de l'eau, on peut faire du suc gastrique artificiel, à condition qu'elle soit unie à un acide. On avait cru à tort que tous les acides pouvaient indifféremment communiquer cette puissance à la pepsine; on sait maintenant que certains acides, l'acide benzoïque par exemple, sont inactifs, que le plus efficace est l'acide chlorhydrique et que, à son défaut, on peut se servir de l'acide lactique et de l'acide acétique. Ce dernier, du reste, n'existe qu'exceptionnellement dans le suc gastrique.

La quantité de pepsine que l'analyse donne dans le produit de la sécrétion gastrique varie chez le même animal et chez des animaux d'espèces différentes. Suivant les analyses de MM. Bidder et Schmidt, on en trouverait 17 pour 1000 chez le Chien, et M. Schmidt fixe à 3 pour 1000 la quantité de pepsine que contient le suc gastrique chez l'Homme.

Nous connaissons le suc gastrique : nous avons étudié sa composition chimique. Il nous faut le voir à l'œuvre et examiner son action sur les éléments de l'alimentation. Cette étude, qu'il est difficile de faire sur des animaux porteurs d'une fistule stomacale, est singulièrement favorisée par les digestions artificielles. Or, vous le savez, parmi les matières alimentaires il y a des substances organiques et des substances inorganiques. Dans les premières sont comprises les matières albuminoïdes, les matières grasses et les amyloïdes ou sucres. Les matières albuminoïdes ne sont pas seulement désagrégées et réduites à l'état globulaire, elles sont transformées en un produit ultime que M. Mialhe appelle *albuminose* et que M. Lehmann a nommé *peptone*. Ce produit est bien différent, sous certains rapports, des matières qui lui ont donné naissance. Elle passe au travers des filtres et se diffuse très-facilement, tandis que les matières albuminoïdes passent très-difficilement au travers des membranes. Du reste, il est très-facile de voir ce qui se passe dans une digestion artificielle. Si l'on place un cube d'albumine cuite dans du suc gastrique naturel d'un mammifère, d'un Chien par exemple, ou dans du suc gastrique artificiel fait par la méthode d'Eberle, et si l'on maintient le vase qui sert à cette expérience à une température à peu près égale à celle de l'intérieur du corps des mammifères, on voit, après quelque temps, que le liquide se trouble, la surface du cube prend une teinte nacrée et, si on la touche avec le doigt, on reconnaît qu'elle est visqueuse et glissante comme du savon, puis les angles du cube s'effacent, sont réduits en une matière pulpeuse qui, au moindre contact, se divise en des milliers de petits grains d'une poussière blanchâtre qui gagne le fond du vase et trouble le liquide; cependant le centre du cube reste toujours blanc et n'est pas attaqué, à moins que l'on n'agite le liquide. C'est là d'ailleurs une condition importante pour le succès des digestions artificielles. Spallanzani en avait déjà reconnu l'utilité, et il agitait de temps à autre les flacons dans lesquels il faisait des digestions artificielles. On comprend que l'on remplace ainsi, bien imparfaitement il est vrai, les mouvements qu'exécute l'estomac pendant la digestion et par lesquels il active la pénétration du suc gastrique et dépouille les aliments encore plus ou moins intacts des parties déjà attaquées. Pour en revenir aux expériences dont je parle, on voit peu à peu le liquide dissoudre les parcelles qui avaient été précipitées et prendre un aspect homo-

Digitized by Google

gène. L'albumine d'œuf non solidifiée par la chaleur change aussi de nature dans le suc gastrique, à la température de 38 à 40 degrés, et l'on doit repousser l'opinion de Prout et de Beaumont, qui disaient que l'albumine se coagulait avant de se dissoudre. Les recherches de Tiedemann et de Gmelin, celles de Frerichs ont montré que l'apparence laiteuse que prend un mélange d'albumine crue et de suc gastrique, lorsqu'on se sert pour l'expérience de l'albumine d'œuf, est due à des débris du tissu aréolaire dans lequel l'albumine est contenue, débris qui résistent plus longtemps à l'action du suc gastrique.

Il n'en est pas de même de la caséine liquide, elle se coagule constamment dans le suc gastrique, mais elle se dissout ensuite et se comporte alors comme l'albumine cuite. La fibrine du sang se digère plus rapidement que la fibrine des muscles, elle se gonfle avant de devenir pulvérulente; mais les deux se dissolvent en définitive dans le suc gastrique. Le gluten se digère également avec rapidité dans le suc gastrique, mais il se dissout également dans les acides dilués, et il n'y a entre ces deux actions aucune différence, ce qui fait croire à M. Blondlot que la digestion du gluten est due uniquement à la présence d'un acide dans le suc gastrique. Il en est de même de la gélatine qui, aussi bien avec les acides qu'avec le suc gastrique, perd la propriété de se prendre en gelée par le refroidissement, et le caractère différentiel entre ces deux actions donné par Wasmann, à savoir que la gélatine dissoute par le suc gastrique précipite encore par le chlore, ne saurait être admis. Enfin la chondrine se comporte comme les autres matières albuminoïdes, seulement elle ne se dissout que très-lentement et très-imparfaitement.

Ainsi vous voyez l'importance de la digestion stomacale. Le suc gastrique transforme des matières très-peu endosmotiques, ne pouvant s'absorber que fort difficilement et, par conséquent, non utilisables pour l'économie, en substances parfaitement solubles dans les liquides de l'organisme, endosmotiques, absorbables, et qui pourront être assimilées. Mais ces diverses substances albuminoïdes se changent-elles directement en albuminoses ou en peptones? D'après M. Meissner, il se ferait des produits de transition et des produits de dédoublement. Parmi ces derniers, je vous citerai la *parapeptone*, substance qui se précipite par la neutralisation du chyme acide filtré, matière qui ne peut pas se changer en peptone par une action plus prolongée du suc gastrique et dont la quantité paraît proportionnelle à la quantité de peptone produite comme un est à deux Rien n'est plus facile que de vérifier ce fait. Voici le produit de la digestion d'une petite quantité d'albumine cuite d'œuf dans du suc gastrique naturel de Chien. La dissolution paraissait complète et l'on vient de filtrer une partie du liquide qui est encore acide. J'ajoute peu à peu au liquide filtré de la soude dissoute dans de l'eau distillée. Vous voyez qu'il se forme un précipité finement floconneux. On avait fait préalablement bouillir une autre portion de ce même liquide et il ne s'y était produit aucun précipité. Les parapeptones de diverses substances albuminoïdes sont très-analogues les unes aux autres, si elles ne sont pas absolument identiques. Un autre produit de dédoublement que M. Meissner n'a trouvé jusqu'ici que dans le liquide résultant de la digestion de la caséine et de la fibrine serait la *dyspeptone*, qui reste en suspension dans le chyme. Parmi les produits de transition, le plus remarquable c'est la *métapeptone*, qui se transforme en peptone lorsque l'action du suc gastrique se prolonge. Elle diffère de la parapeptone en ce qu'elle est soluble dans l'eau, tandis que la parapeptone ne l'est pas. Enfin M. Meissner admet que le liquide, une fois ces principes extraits, en contient encore d'autres qu'il désigne sous le noms de *a* peptone, *b* peptone, *c* peptone. Matières différentes les unes des autres par un degré plus ou moins grand de solubilité en présence de certains réactifs.

Outre ces différences indiquées dans le même produit d'une seule substance alimentaire, il y a, pour certains auteurs, des différences entre les peptones, suivant qu'elles résultent de la transformation de fibrine, de gluten ou d'albumine; de là les noms de fibrine-peptone, d'albumine-peptone, de caséine-peptone, de musculine-peptone, etc. L'étude qu'on a faite des différences qui existent entre ces diverses peptones est très-incomplète : je dois me borner à dire que M. Corvisart a constaté que la fibrine-peptone précipite par le bichlorure de platine, tandis que l'albumine-peptone ne précipite pas. De plus, M. Marcet et après lui M. Corvisart ont reconnu que si les peptones dévient comme l'albumine le plan de polarisation à gauche, le degré de déviation varie suivant l'espèce de peptone essayée.

Le suc gastrique ne produit pas, en outre, la même quantité de peptone avec les diverses substances albuminoïdes. Ainsi, d'après Lehmann et M. Corvisart, 100 grammes de suc gastrique de Chien transforment 5 grammes d'albumine et jusqu'à 10 grammes de fibrine. D'où vient cette différence? Est-ce à cause de l'alcalinité de l'albumine? Cette explication est peut-être en rapport avec ce que M. Brücke a vu, à savoir que le suc gastrique peut digérer la même quantité de ces deux substances, à condition de contenir deux millièmes d'acide pour la première et un pour la seconde. Ai-je besoin d'ajouter que ces évaluations ne s'appliquent qu'au suc gastrique naturel? Le suc gastrique artificiel peut avoir une bien autre puissance. J'ai fait digérer de 10 à 12 grammes d'albumine cuite dans 30 à 40 grammes de suc gastrique artificiel de Chien, ou de Veau, ou de Cochon d'Inde, ou de Grenouilles. Et je crois qu'on aurait pu aller plus loin.

C'est en grande partie à une différence dans la quantité d'acide que contient le suc gastrique naturel qu'il faut attribuer la différence d'action du suc gastrique des animaux carnivores et de celui des animaux herbivores sur les matières albuminoïdes. D'après MM. Bidder et Schmidt, 100 grammes de suc gastrique de Chien digèrent 2,20 d'albumine, et la même quantité de suc gastrique de Mouton ne digèrent que 0,54. A côté de cette donnée, il faut placer les faits intéressants constatés par M. Cnoop Koopmans qui a vu qu'un suc gastrique faible en acide dissout mieux le gluten que s'il est riche en acide, et que le contraire a lieu pour l'albumine : or, le gluten représente la substance albuminoïde des végétaux, et se trouve par conséquent en rapport avec le suc gastrique faiblement acide des Herbivores; l'albumine est le type des matières protéiques des aliments tirés du règne animal, et s'adapte par conséquent au suc gastrique, riche en acide, des Carnivores. Et enfin il y a cet autre fait que l'on peut rendre le suc gastrique artificiel du Mouton plus énergique que le suc gastrique naturel du Chien en forçant la proportion d'acide. Cependant toute la différence n'est pas dans le degré d'acidité, car le suc gastrique de l'Homme est moins acide que le suc gastrique du Mouton, et cependant il digère mieux et en plus grande quantité les substances albuminoïdes.

Je crois que tout ne se réduit pas à une question de quan-

Digitized by Google

tité, et qu'il y aurait une question de qualité aussi à examiner. Il y a bien certainement, en tout cas, sous ce rapport, une différence qualitative entre les animaux à température constante et les animaux à température variable. Le suc gastrique de ces derniers est inactif à une très-basse température, comme celui des Mammifères ou des Oiseaux, mais si l'on élève la température de 18 degrés à 25, il se manifeste une différence bien sensible. Le suc gastrique des animaux dits à sang froid digère alors assez activement les matières albuminoïdes, tandis que le suc gastrique des animaux dits à sang chaud ne le fait que lentement. De même, si l'on élève la température des sucs gastriques artificiels jusqu'à 40 ou 45 degrés centigrades pendant quelques instants, le résultat est très-différent suivant qu'il s'agit d'un suc gastrique fait avec la membrane muqueuse stomacale d'animaux à température constante ou de celle d'animaux à température variable. Le suc gastrique artificiel de Mammifères supporte très-bien cette température si elle n'a qu'une faible durée ; le suc gastrique de Tortues, de Grenouilles, de Poissons, devient entièrement ou presque entièrement inactif dans ces mêmes conditions. Ce sont là des essais que j'ai faits bien des fois et dont je vous donne les résultats pour très-constants. D'autre part, si l'on voulait entrer dans des détails circonstanciés, on aurait à signaler encore d'autres traits distinctifs. C'est ainsi que, tandis qu'en général l'albumine cuite semble se déliter de la surface à la profondeur dans le suc gastrique du Chien, elle devient transparente sans diminuer de volume chez la Grenouille et la Tortue, progressivement aussi des couches superficielles aux couches profondes. Pourquoi d'ailleurs nous étonnerions-nous de voir des différences entre le suc gastrique des Vertébrés supérieurs et des Vertébrés inférieurs? Il y a certainement une différence pour le sang, la lymphe de ces animaux, pourquoi le suc gastrique échapperait-il à cette règle générale ?

Jusqu'à présent nous n'avons étudié que l'action du suc gastrique sur des éléments des aliments. Mais il faut voir ce qui se passe pour les aliments complexes. Pour le lait, par exemple, il semblerait qu'il n'y ait pas dissolution immédiate, puisque le premier phénomène qui suit l'entrée du lait dans l'estomac est une coagulation immédiate ; mais plus tard il se fait une dissolution, et si le liquide reste trouble, cette apparence est due à la présence des globules de beurre. Mais c'est surtout pour la chair musculaire qu'il y a eu contestation. D'après M. Blondlot et M. Cl. Bernard, l'action se bornerait à dissoudre le tissu conjonctif qui forme la charpente du tissu musculaire, par conséquent à dissocier les faisceaux musculaires primitifs. Et de fait, tel est le résultat que donne l'examen de la viande musculaire crue ou cuite à moitié digérée.

Certainement c'est là le premier effet, et c'est cette propriété qui a fait proposer et employer le suc gastrique pour isoler les uns des autres les éléments anatomiques qu'on veut soumettre aux études histologiques. Mais il est inexact de croire que l'action s'arrête là. J'ai constaté, comme presque tous les observateurs qui ont étudié ce phénomène, et comme d'ailleurs le montrent elles-mêmes les figures publiées par M. Cl. Bernard, que les stries d'un certain nombre de faisceaux musculaires primitifs disparaissent plus tard, et que la musculine se dissout et forme de la musculine-peptone, comme l'appelle M. Corvisart. M. Frerichs, M. Rollett et d'autres auraient vu le faisceau primitif se séparer en fibrilles ou en disques, mais il est vrai de dire que ce résultat n'est pas ordinaire. Pour être tout à fait exact, il faut dire qu'un grand nombre de fragments de faisceaux primitifs passent inaltérés dans l'intestin grêle.

Ainsi, il se produit une dissolution partielle ; mais par quel mécanisme se produit-elle? Est-ce une combinaison de la pepsine avec la matière albuminoïde; mais la quantité de pepsine est beaucoup trop faible eu égard à la quantité de peptone formée. Cependant, je dois avouer que cette objection n'est pas irréfutable, puisque le suc gastrique se renouvelle constamment pendant la digestion, il y a sans cesse un apport de nouvelles quantités de pepsine. Mais l'on en sait même pas si la pepsine est modifiée après la digestion, comme l'a avancé Pappenheim, car on peut lui rendre une partie de son énergie par la seule addition d'acide. Est-ce une putréfaction ? Non, car le suc gastrique, même d'après les expériences de Spallanzani, expériences très-variées et tout à fait probantes, est plutôt un antiseptique. C'est bien certainement une modification isomérique par suite d'un travail analogue à la fermentation, et la pepsine pourrait ainsi dire être classée à côté des ferments comme la diastase, mais en tous cas, il y a là une action différente des vrais ferments qui, d'après les travaux de M. Pasteur, seraient déterminés par la production de Protozoaires ou de Protophytes.

Nous sommes évidemment dans une ignorance profonde de ce qui se passe d'intime dans la digestion ; et même il ne faut pas nous laisser aller à considérer cette action comme spécifique, car M. Meissner, par la simple ébullition dans l'eau des matières albuminoïdes pendant des jours ou des semaines, les a transformées partiellement en peptones et a trouvé les mêmes produits de transition et de dédoublement. On serait donc obligé d'en revenir à la comparaison déjà faite avec l'action de l'eau bouillante, seulement l'action du suc gastrique est plus énergique, elle se fait à une température beaucoup plus basse. Je dois dire que j'ai vu aussi de l'albumine cuite d'œuf, après avoir séjourné pendant dix et quinze jours, dans de l'eau acidulée par de l'acide chlorhydrique, sans éprouver la moindre modification appréciable, se dissoudre ensuite très-lentement ; au bout de deux mois, la dissolution était complète ; et j'ai pu constater que le liquide contenait alors de la parapeptone, comme les produits de la digestion de l'albumine cuite dans du suc gastrique artificiel.

Il nous reste à passer rapidement en revue les modifications que subissent dans l'estomac les autres matières organiques. Or, il est bien établi aujourd'hui que le suc gastrique est absolument sans action sur les graisses et sur les matières amylacées. Si les matières amylacées se transforment partiellement en sucre dans l'estomac, nous avons déjà vu que cette modification est due, non au suc gastrique, mais bien à l'action de la salive qui est entraînée dans l'estomac, soit dans l'intervalle des repas, soit surtout en même temps que les aliments. Relativement aux matières sucrées, le seul fait intéressant à noter, c'est que, d'après MM. Bouchardat et Sandras le sucre de canne ou saccharose se change en sucre interverti, mélange de glycose et de lévulose ; c'est l'acide qui produit cette modification.

Pour les matières inorganiques : l'eau est absorbée directement. Il en est de même des sels divers, du fer, des sels insolubles s'y dissolvent. Les sels de chaux offrent de l'intérêt au point de vue de la digestion des os. Déjà Réaumur et Spallanzani avaient montré avant les recherches modernes que les os n'échappent pas à la digestion, surtout chez certains

Digitized by Google

animaux. On sait aujourd'hui que le suc gastrique attaque principalement la substance organique des os, l'osséine. La substance terreuse se délitant, tombant en poussière, une petite partie est dissoute, tandis que la plus grande partie parcourt les intestins et se mélange aux matières fécales.

Il y aurait encore à vous parler du degré de digestibilité des divers aliments dans l'estomac, mais cette étude est encore bien incomplète, malgré les travaux de Gosse et ceux de Beaumont. Je préfère terminer cette étude en vous parlant de l'influence du système nerveux sur cette fonction.

III. *Influence du système nerveux sur les fonctions de l'estomac.*

L'estomac reçoit ses nerfs de deux sources différentes : du système cérébro-spinal lui viennent de fibres des pneumogastriques; le système du grand sympathique fournit des rameaux unis au nerf vague et des rameaux venus du plexus solaire. L'influence du système nerveux peut s'exercer sur les fibres musculaires, ou sur la membrane muqueuse.

Évidemment le pneumogastrique agit sur les fibres musculaires : c'est là une des expériences dont je vous ai rendus témoins. Mais il y a une autre question à résoudre. Est-ce le pneumogastrique qui agit directement sur l'estomac, ou bien cette action est-elle produite par une de ses nombreuses anastomoses, par celle que lui envoie le spinal, entre autres? Il y a une expérience due à M. Waller, qui tranche la question. M. Waller arrache la partie centrale du spinal d'un côté, puis, au bout de douze ou quinze jours, il galvanise les deux pneumogastriques de cet animal. Du côté sain, il obtient un effet très-énergique sur le cœur qui s'arrête et sur l'estomac, qui entre en contraction; du côté qui a été opéré, on n'observe aucune action, ni sur le cœur, ni sur l'estomac. J'ai dit que cette expérience tranche la question; mais je dois ajouter immédiatement que cela ne s'applique qu'à l'espèce d'animaux soumise à l'expérimentation, c'est-à-dire au Chat. Nous avons vu, à propos de l'œsophage, qu'il n'en est pas de même chez le Lapin, et il me paraît très-vraisemblable que le résultat serait encore plus différent chez le Chien. Probablement chez ce dernier animal le spinal n'a qu'une bien faible action sur la tunique musculaire de l'estomac; et, chez le Lapin, il est certain que le pneumogastrique débarrassé, par l'expérience de M. Waller, du concours des fibres anastomotiques du spinal, conserve un certain degré d'influence sur cette tunique.

Quoi qu'il en soit sur ce point, la section des nerfs pneumogastriques à la région du cou, et mieux encore près de l'estomac, paralyse les mouvements de l'estomac. Mais y a-t-il alors paralysie complète? Probablement il doit y avoir une action due au grand sympathique. En tous cas, je le répète, il est certain que la tunique musculaire est au moins paralysée en grande partie. De là, les mouvements de l'estomac perdent de leur énergie, les matières sont incomplétement brassées et à supposer qu'il y ait du suc gastrique sécrété, son action est limitée à la surface des aliments. De plus, il y a une paralysie de la couche musculaire de la membrane muqueuse et des fibres de cette couche qui pénètrent entre les glandes, d'où l'excrétion du suc gastrique est rendue plus difficile.

D'autre part, le système nerveux exerce son influence sur la membrane muqueuse. Dans les phénomènes réflexes dont l'estomac est le point de départ, les fibres du pneumogastrique jouent le rôle de fibres excito-motrices. Donc, après la section des nerfs vagues, les excitations qui doivent avoir pour résultat définitif l'excrétion du suc gastrique, n'arrivent plus, pour la plupart, aux centres nerveux, ne déterminent plus de réactions réflexes, ce qui apporte une nouvelle cause de trouble dans les phénomènes digestifs.

Outre ces fibres excito-motrices, il y a dans les nerfs vagues des fibres vaso-motrices; et, par conséquent, leur section doit avoir une influence indirecte sur la sécrétion. Théoriquement, on peut, comme pour les glandes salivaires, admettre que certaines fibres activent le travail des éléments sécréteurs des glandes et que ces fibres agissent ainsi, d'une part, directement sur la sécrétion, et, d'autre part, indirectement sur les vaisseaux; mais jusqu'ici on n'a aucune donnée confirmative sur ce point. Tout ce que l'on peut dire, c'est que les vaisseaux veineux qui contiennent du sang noir pendant le repos de l'estomac, renferment, ainsi que je m'en suis assuré, un sang d'une couleur plus claire, presque rutilante, comme le sang artériel, lorsque la fonction est en pleine activité.

Toujours est-il que la section des nerfs vagues détermine un grand trouble, une diminution ou même parfois un arrêt du travail digestif, et une diminution notable de l'absorption. Et un fait digne d'attention constaté par M. Schiff, c'est que la section des nerfs vagues au cou détermine ces effets d'une façon plus prononcée que cette section près de l'estomac.

Voici une expérience due à M. Cl. Bernard, et qui montre bien quelle est l'importance des nerfs vagues relativement aux fonctions de l'estomac. On a deux Chiens à jeun, l'un qui a les pneumogastriques intacts, l'autre qui a les pneumogastriques coupés. On donne à ces deux Chiens de l'émulsine et, une demi-heure après, de l'amygdaline. L'émulsine est une substance azotée contenue dans les amandes qui favorise l'émulsion de l'huile d'amandes, et qui de plus jouit de la propriété de dédoubler l'amygdaline en essence d'amandes amères et en acide cyanhydrique. Or, l'expérience étant faite comme il vient d'être dit, on n'observera aucun phénomène sur celui qui a ses nerfs intacts. L'émulsine a déjà été modifiée par le suc gastrique et a perdu son action particulière sur l'amygdaline. Mais il n'en est pas de même du Chien qui a les pneumogastriques coupés. L'émulsine est restée intacte dans son estomac; le dédoublement de l'amygdaline s'opère et l'animal tombe empoisonné très-rapidement.

L'explication que je viens de vous donner est celle qui a été proposée par M. Cl. Bernard; elle n'a pas été adoptée par tous les physiologistes. On a même nié le fait en question, mais en s'appuyant sur des expériences faites sur des Lapins. Je n'ai pas besoin d'insister longuement pour vous faire comprendre que les conditions sont bien différentes dans ce cas, car les Lapins ont toujours dans leur estomac des matières en digestion : il y a là par conséquent du suc gastrique qui agit sur l'émulsine dès qu'elle arrive dans la cavité stomacale, que les nerfs vagues soient intacts ou qu'ils aient été préalablement coupés, et le résultat est nécessairement le même dans les deux cas. Mais chez le Chien à jeun depuis vingt-quatre heures, l'estomac est vide, et la section des nerfs pneumogastriques change inévitablement les conditions dans lesquelles va se trouver l'émulsine lorsqu'elle sera en contact avec les parois de cet organe. D'ailleurs, je vous rendrai témoins de l'expérience que j'ai faite comme M. Cl. Bernard, avec les mêmes résultats que lui, et vous ne pourrez conserver aucun doute sur la constance de ces résultats. Quant à l'explication, M. Lussana pense qu'on ne peut point adopter celle de M. Cl. Bernard, car il aurait vu que l'émulsine, même chez les Chiens intacts, con-

Digitized by Google

serve ses propriétés après une demi-heure de séjour dans l'estomac : seulement, suivant lui, c'est la substance acide qui se trouve dans le suc gastrique qui s'opposerait à l'action de l'émulsine dans ce cas; et si, chez les Chiens qui ont subi la section des nerfs vagues, le dédoublement de l'amygdaline a lieu, ce serait parce que le liquide qui est alors sécrété est bien moins acide que dans l'état normal.

Telles sont les données principales fournies jusqu'à présent par l'étude de l'action des nerfs vagues sur les fonctions de l'estomac. Quant à l'influence du système sympathique sur ces fonctions, on n'en connaît réellement presque rien. Tout se réduit même à des hypothèses qu'il me paraît inutile de discuter.

Un mot seulement, avant de terminer l'étude de la digestion gastrique, sur une question qui n'est pas dépourvue d'intérêt. On est porté à se demander comment l'estomac qui sécrète un suc digestif puissant, et dont la membrane muqueuse est si souvent et si longtemps en contact avec ce liquide, n'en subit pas les atteintes et n'est pas lui-même digéré. Il faut bien savoir d'abord que cette immunité n'existe pas pendant la vie; car ainsi que l'ont vu J. Hunter, Spallanzani, et bien d'autres depuis, le suc gastrique peut agir après la mort, dans de certaines conditions, au point de digérer non-seulement la membrane muqueuse de l'estomac, mais parfois toute l'épaisseur de la paroi sur un ou plusieurs points, et, dans quelques cas rares, d'attaquer même les viscères voisins. Ces conditions, c'est surtout qu'il y ait du suc gastrique bien actif dans l'estomac au moment de la mort, et que le cadavre de l'Homme ou de l'animal se trouve conserver, pendant plusieurs heures, la température de l'état de vie. Mais pendant la vie réelle, effective, la membrane muqueuse résiste; les cellules épithéliales des glandes pepto-gastriques sont gorgées de sucre gastrique et ne se détruisent pas, au moins complétement : comment expliquer cela? Je crois qu'il faut, quoi qu'on en ait dit, en s'appuyant sur des expériences spécieuses, admettre que les éléments anatomiques vivants, en pleine activité de vie, peuvent résister aux agents chimiques qui les attaquent après leur mort. Tous ceux qui ont étudié au microscope des infusoires vivants et qui les ont mis en contact avec des liquides colorants, des solutions de carmin, ou de fuchsine, par exemple, ont vu que ces animaux ne se laissent colorer par ces substances que lorsqu'ils sont morts. J'ai constaté le même fait sur des larves d'insectes, et, en particulier, sur de très-jeunes larves de *Chironomus plumosus*. Je pense qu'il y a quelque chose d'analogue relativement à la résistance qu'oppose l'épithélium de l'estomac à l'action du suc gastrique pendant la vie. J'aime mieux me rendre compte ainsi de ce fait que d'adopter les idées de M. Pavy. Ce physiologiste veut que ce soit le sang, liquide alcalin traversant les parois de l'estomac d'une façon incessante, qui empêche la membrane muqueuse d'être attaquée, en neutralisant l'acide du suc gastrique. Mais quelle preuve pourrait-on donner en faveur de cette hypothèse? Ne sait-on pas, au contraire, que la réaction de la membrane muqueuse est toujours acide, et que le suc gastrique qu'elle contient n'est pas neutralisé? Que si l'on ne voulait parler que de la petite quantité qui peut être versée dans l'estomac lorsqu'il ne contient pas d'aliments, on ne résoudrait ainsi qu'une bien petite partie de la difficulté, puisque l'on n'expliquerait pas la résistance de la membrane muqueuse du suc gastrique qui est mêlé aux aliments dans le moment de la digestion. L'hypothèse que j'examine en ce moment ne me paraît donc pas avoir de valeur réelle et elle me semble devoir être rejetée sans hésitation.

Lorsque les aliments ont subi l'action du suc gastrique, ils doivent achever de se modifier sous l'influence des autres sucs digestifs qu'ils vont rencontrer dans l'intestin grêle. C'est l'étude de ces modifications qui nous occupera dans les prochaines leçons. — E. Brémond.

BULLETIN DES COURS.

Muséum d'histoire naturelle.

Anatomie comparée (mardis et samedis à deux heures). — M. Serres (de l'Institut), professeur, ouvrira ce cours le samedi 3 novembre 1866, à deux heures, dans l'amphithéâtre d'anatomie comparée, et le continuera les mardis et samedis suivants à la même heure. — Il traitera de l'anatomie générale, de l'histologie et de l'embryogénie comparée. Il exposera les théories émises sur le développement de l'homme et des animaux, et en fera l'application à l'anatomie comparée des appareils de nutrition, de relation et de reproduction. Les applications à la physiologie, à la médecine et à la tératologie, seront exposées dans des leçons spéciales.

Zoologie (*reptiles, batraciens et poissons*). — Mardis, jeudis et samedis à midi. — M. Auguste Duméril, professeur, ouvrira ce cours le samedi 3 novembre, à midi, dans les galeries de zoologie du Muséum, et le continuera à la même heure les mardis, jeudis et samedis. — L'histoire générale des reptiles, des batraciens et des poissons, fera le sujet du cours de cette année.

Faculté de médecine de Paris.

La Faculté de médecine de Paris ouvrira ses cours d'hiver le lundi 5 novembre 1866. Ils auront lieu dans l'ordre suivant :

COURS.	PROFESSEURS.	JOURS.	HEURES.
Physique médicale. . . .	Gavarret.	Lundi, vendredi.	A midi.
		Mercredi.	A 5 h.
Pathologie et Thérapeutique générales. . . .	Andral, r. p. M. Racle, agrégé. . .	Lundi, mercredi, vendredi	A 3 h.
Anatomie.	Jarjavay	Lundi, mercredi, vendredi	A 4 h.
Chimie médicale	Wurtz.	Mardi, samedi.	A 11 h.
		Jeudi.	A 2 h.
Opérations et appareils. .	Denonvilliers. . . .	Mardi, jeudi, samedi. . . .	A 4 h.
Pathologie médicale. . .	Monneret	Mardi, jeudi, samedi. . . .	A 3 h.
Pathologie chirurgicale. .	Richet.	Mardi, jeudi, samedi. . . .	A midi 1/4
Histologie.	Robin	Mardi, jeudi, samedi. . . .	A 5 h.
Clinique médicale.	Bouillaud.	à la Charité.	Tous les jours, le matin, de 8 à 10 h.
	Natalis Guillot, r. par M. Bucquoy, agr.		
	Piorry.	à l'Hôtel-Dieu.	
	Grisolle, rempl. par M. Fournier, ag.		
Clinique chirurgicale. . .	Jobert (de Lamballe), r. p. M. Houel, ag.		
	Laugier		
	Velpeau	à la Charité.	
	Nélaton.	à l'hôp. des Cliniques.	
Clinique d'accouchement	Depaul.		

COURS COMPLÉMENTAIRES.

Maladies des enfants, M. H. Roger, à l'hôpital des Enfants malades, les mercredis, à huit heures et demie.

Maladies mentales et nerveuses, M. Lasègue, à la Faculté, les lundis et vendredis, à sept heures et demie du soir; à la Salpêtrière, le dimanche, à huit heures et demie du matin.

Maladies de la peau, M. Hardy, à l'hôpital Saint-Louis, les mardis et samedis, à huit heures et demie.

Ophthalmologie, M. Foucher, au Bureau central (Parvis Notre-Dame), les lundis et vendredis, à deux heures; à l'hôpital Saint-Antoine, le jeudi, à neuf heures du matin.

Le propriétaire-gérant : Germer Baillière.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE — NUMÉRO 50 — 10 NOVEMBRE 1866

CONFÉRENCES SCIENTIFIQUES DE TURIN.

M. C. MATTEUCCI.
(Sénateur et ancien ministre du royaume d'Italie).

L'affinité chimique dans ses rapports avec la théorie mécanique de la chaleur. — Équivalents calorifiques. Pile de Volta; travail chimique et calorifique. Moteurs électro-magnétiques. Courants induits.

Messieurs,

Dans la leçon précédente (1), nous avons déduit d'un grand nombre d'expériences, une relation mécanique entre la chaleur et le travail dynamique. Le principe fondamental de l'équivalence du travail et de la chaleur devait nécessairement intervenir dans les effets de l'affinité chimique. Nous allons voir ce soir que l'affinité chimique, et par suite la pile de Volta, nous offre une démonstration nouvelle et plus complète de ce principe qui nous servira à expliquer des phénomènes qui, jusqu'ici, lui paraissaient complétement étrangers, et dont l'interprétation offrait de grandes difficultés.

La combinaison chimique est constamment accompagnée d'un développement de chaleur; les combustions proprement dites ne sont que des combinaisons de l'oxygène de l'air avec un grand nombre de corps simples. Dans quelques cas la chaleur développée est très-grande et par suite accompagnée d'une lumière intense. Vous en voyez des exemples dans la combustion du carbone, du phosphore et du fer dans l'oxygène. De quelque manière qu'on veuille expliquer l'affinité, il est certain que dans l'acte de la combinaison chimique, des millions d'atomes des deux corps se heurtent les uns contre les autres, et passent d'un certain état d'équilibre dans un autre, dans lequel les affinités chimiques des éléments entrés en combinaison ont cessé d'agir; à la place des atomes nous trouvons des molécules composées des atomes des deux éléments. Nous ne connaissons pas et nous ne connaîtrons peut-être jamais le nombre absolu des atomes qui entrent dans une combinaison; nous ne connaîtrons non plus l'espace qu'ils ont parcouru ni les vitesses dont ils sont animés avant d'entrer en combinaison. Nous n'en pouvons pas moins considérer comme une conséquence légitime de la théorie mécanique de la chaleur, la comparaison du travail absorbé par une combinaison quelconque, à celui d'un corps grave qui tombe d'une certaine hauteur. Dans toute combinaison la quantité totale de chaleur développée, multipliée par le nombre qui représente l'équivalent mécanique de la chaleur, nous donnerait la mesure du travail de l'affinité. Nous avons donc raison de considérer comme un autre grand progrès dû à la découverte que je me suis efforcé de vous exposer, la relation exacte et rigoureuse qu'elle nous a permis de constater entre la mécanique et la combinaison chimique.

Je ne puis m'étendre autant que je le voudrais sur la description de toutes les recherches qui, à partir de Lavoisier et Laplace, ont été tentées dans le but d'obtenir la mesure de la chaleur développée pendant les combustions et d'en déterminer les lois. C'est là un des problèmes les plus compliqués et les plus délicats de la physique expérimentale; il a été proposé pendant plusieurs années de suite comme sujet d'un grand prix, par l'Académie des sciences de Paris, malheureusement sans aucun résultat. Je me contenterai donc de vous faire connaître les nombres qui expriment ce que l'on appelle les *équivalents calorifiques*, c'est-à-dire le nombres de calories produites par la combustion d'une série de corps simples pris en poids proportionnels à leurs équivalents rapportés à 1 gramme d'hydrogène comme unité. La calorie dont nous nous servons dans le tableau suivant est la millième partie de celle dont nous avons fait usage dans la leçon précédente; elle exprime par conséquent la quantité de chaleur nécessaire pour échauffer de 1 degré centigrade 1 gramme d'eau. Voici ce tableau :

Noms des corps simples combinés avec l'oxygène.			Nombre de calories.
1	gramme	d'hydrogène.....	34 462
6	—	de carbone.....	48 480
15	—	de soufre.....	36 176
33	—	de zinc.....	42 411
28	—	de fer.....	37 828
31,78	—	de *cuivre*.....	21 885
108	—	d'argent.....	6113

Il serait difficile de tirer de l'inspection de ces nombres quelque relation entre l'équivalent chimique d'un corps et le nombre de calories développées pendant sa combustion; ce résultat, comme nous l'avons déjà dit, ne doit pas nous surprendre puisque nous n'avons pas les connaissances nécessaires pour déduire à priori de la théorie dynamique de la chaleur les effets calorifiques équivalents au travail de l'affinité.

Nous constaterons cependant que ces nombres montrent d'une manière très-nette que la quantité de chaleur développée dans la combinaison de deux corps est une quantité constante, qui croît proportionnellement à la stabilité du corps composé, ce qui revient à dire que cette quantité est proportionnelle à l'intensité de la force avec laquelle les atomes se meuvent au moment où ils se rencontrent pour entrer en

(1) Voyez une leçon de M. Matteucci dans le numéro 12 de la *Revue des cours scientifiques* de cette année, p. 193. Voyez aussi la leçon de M. Cazin, dans le numéro 26, 1865, 431.

Digitized by Google

combinaison. Ainsi, l'oxyde d'argent est le plus instable des composés formés. Comme la chaleur nécessaire pour décomposer une combinaison doit être égale à celle qui se développe pendant que la combinaison se forme, la chaleur que produit l'argent en s'oxydant doit être exprimée par le plus petit nombre; l'expérience vérifie cette conclusion.

Pour vous donner une nouvelle preuve de ce fait, je vous dirai que lorsque l'argent se combine avec le chlore pour former du chlorure d'argent, composé plus stable que l'oxyde d'argent, on trouve pour l'équivalent calorifique du chlorure un nombre qui est près de six fois celui de l'oxyde.

Voyons maintenant ce qui se passe lorsque le zinc au lieu de brûler dans l'air s'oxyde au milieu d'un mélange d'eau et d'acide sulfurique. Vous comprenez tous que je veux parler du zinc dans son application à la pile voltaïque. Il y a quelques années, si nous avions connu, comme nous la connaissons maintenant, la théorie dynamique de la chaleur, nous aurions pu combattre et détruire plus vite que cela n'a pu se faire en réalité, l'opinion qui attribuait l'origine de la force électro-motrice de la pile à un quelque chose de particulier, à une espèce de force agissant sans se consumer jamais, et faisant de la pile un véritable moteur perpétuel. Si le courant électrique, comme vous le verrez tout à l'heure, réchauffe tous les conducteurs dans lesquels il se meut, il est impossible que ce phénomène se produise sans qu'il se consume dans l'intérieur de la pile un travail correspondant. Et ce travail, qui existe réellement, est le travail de l'affinité chimique.

Qu'est-ce donc qu'une pile? Un morceau de zinc pur ou amalgamé, plongé dans une solution d'acide sulfurique, reste inaltéré; nous pouvons même chauffer pendant longtemps ce liquide sans que pour cela le zinc diminue de poids. Cependant, si je fais communiquer ce morceau de zinc avec le plateau d'un électroscope condensateur, et si je place l'eau acidulée en communication avec le sol, je puis facilement m'assurer que le zinc est chargé d'électricité négative comme le serait un morceau de gomme-laque frotté. Il n'y a pas d'exemple dans la nature d'une production d'électricité dans laquelle il n'y ait pas à la fois développement des deux électricités; nous pouvons le constater encore dans ce cas en plongeant dans le liquide acidulé une lame de platine qui ne subit aucune action chimique. Cette lame examinée à l'électroscope condensateur se montrera chargée d'électricité positive correspondant à l'électricité négative du zinc.

La tendance du zinc à se combiner avec l'oxygène suffit pour développer dans le zinc lui-même et dans le liquide une *polarisation électrique* qui précède nécessairement le courant chaque fois que se réalisent les conditions nécessaires à son développement. Ces conditions sont la continuité du circuit et sa conductibilité. Supposons que nous plongions dans le vase qui contient la solution acide, une lame de zinc pur ou amalgamée et une plaque ou un fil de platine. Au moment où la lame de zinc et le fil de platine se touchent, soit en dedans, soit en dehors du liquide, il se produit un courant électrique qui détermine dans l'arc métallique et dans le liquide interposé un certain état d'électricité en mouvement, que nous pouvons comparer à de petites décharges électriques se succédant sans interruption sur tous les points de l'arc. Pour former un couple de Volta, ou plutôt l'élément voltaïque dont nous nous servons maintenant, et qui est beaucoup plus intense que le premier couple imaginé par son inventeur, on emploie toujours, d'un côté une lame de zinc amalgamée, de l'autre un morceau de platine ou de charbon. Ces deux éléments sont plongés, le premier dans une solution d'une partie d'acide sulfurique sur neuf parties d'eau, et l'autre dans de l'acide nitrique contenu dans un cylindre de terre cuite poreuse, qui l'empêche de se mélanger trop rapidement avec la solution acide.

Pour vous prouver la corrélation intime qui existe entre l'action chimique et les forces appelées électro-motrices, je mets sous vos yeux une expérience très-simple et très-facile à répéter. Je prends comme toujours, une lame de zinc amalgamée, je la pèse et la plonge dans l'eau acide; je remplis ensuite de ce liquide une petite cloche de verre graduée qui sert à recueillir et à mesurer les gaz. J'introduis dans la cloche un bout de fil de platine, je renverse ensuite la cloche pleine de liquide sur l'eau acidulée de manière que le fil de platine tombe forcément en contact avec la lame de zinc. A l'instant même vous voyez le fil de platine se couvrir de bulles de gaz qui continuent à se développer aussi longtemps que dure le contact; elles disparaissent quand je déplace la cloche en rompant le contact; elles reparaissent instantanément dès que le fil de platine et la plaque de zinc sont remis en contact. Le gaz recueilli est de l'hydrogène pur; dans le liquide se dissout du sulfate de zinc, ou comme disent les chimistes modernes, une combinaison d'eau et d'acide sulfurique dans laquelle l'hydrogène a été remplacé par du zinc. Je pèse le zinc après l'expérience, je mesure l'hydrogène et je trouve que les deux poids ainsi obtenus sont dans le même rapport que les équivalents chimiques de ces corps, c'est-à-dire dans le rapport de 1 à 33. N'oublions pas de remarquer que l'hydrogène s'est développé tout entier sur le platine, c'est-à-dire en un endroit où il n'existe certainement aucune affinité chimique capable de décomposer l'eau et de rendre l'hydrogène libre. L'affinité chimique a décomposé l'eau; mais c'est le courant électrique qui a transporté l'hydrogène sur le platine.

En effet, lorsque le courant est plus intense, lorsqu'on se sert pour l'obtenir d'un nombre plus considérable d'éléments et qu'on plonge dans la solution acide les deux fils de platine qui communiquent avec les extrémités de la pile, on obtient encore la décomposition de l'eau, décomposition qui dans ce cas est entièrement produite par le courant électrique. Dans ce liquide décomposé entièrement par le courant extérieur de la pile, les éléments de l'eau se trouvent constamment séparés dans les proportions mêmes de leur combinaison, c'est-à-dire dans le rapport de 1 d'hydrogène pour 8 d'oxygène en poids, et dans le rapport de 1 volume d'oxygène pour 2 d'hydrogène, si l'on mesure ces corps à l'état gazeux. Je puis substituer à l'eau acidulée employée dans cette expérience d'autres composés, des oxydes, des chlorures, des iodures, des sels quelconques, et lorsqu'ils sont liquides, c'est-à-dire fondus ou dissous dans l'eau, le courant électrique les décompose suivant la même loi, c'est-à-dire en séparant et en rendant libre aux deux pôles les deux éléments de la combinaison, dans des proportions équivalentes, et par suite propres à reformer la quantité de la combinaison qui a été décomposée.

La direction dans laquelle sont séparés les éléments des corps décomposés est en relation constante avec le sens suivant lequel se séparent les éléments au sein de la pile et avec le mouvement électrique en général. Au sein de la pile, quand le circuit est fermé, l'oxygène se précipite sur le zinc avec lequel il se combine, s'éloignant ainsi du métal dont

Digitized by Google

sort l'électricité positive; l'hydrogène se développe, au contraire, sur le platine, c'est-à-dire sur le métal dans lequel pénètre l'électricité positive. En dehors de la pile la même chose se produit; dans le liquide qui se décompose par le courant électrique, on voit l'oxygène se dégager au contact du pôle d'où sort l'électricité positive, tandis que l'hydrogène se développe sur l'autre pôle, sur celui dans lequel entre l'électricité. Si au lieu d'eau nous employons les composés que j'ai nommés, nous verrons constamment l'hydrogène et les métaux se porter sur le pôle dans lequel pénètre l'électricité positive et l'oxygène, le chlore, l'iode, le soufre, se développer sur le pôle dont sort l'électricité positive.

Cette loi électro-chimique avait fait croire aux chimistes que les éléments des combinaisons se comportent comme les deux balles de sureau électrisées, l'une chargée d'électricité positive, l'autre d'électricité négative, et que leur combinaison ainsi que la chaleur qui l'accompagne sont l'effet de l'attraction qui se manifeste entre deux corps chargés d'électricités contraires et de l'étincelle qui se reproduit dans ce cas. Dans cette hypothèse la décomposition électrochimique ne serait autre chose que l'attraction de l'électricité du pôle positif sur l'électricité négative de l'oxygène et l'attraction de l'électricité du pôle négatif sur l'électricité positive de l'hydrogène.

Quoi qu'il en soit de cette hypothèse, contre laquelle on peut soulever une foule d'objections, ce qu'il importe de retenir, c'est la relation qui existe entre l'affinité chimique qui travaille dans l'intérieur de la pile, la direction du courant électrique qui se développe, la quantité et la direction des éléments que le courant sépare et développe dans les points du circuit où le conducteur liquide communique avec le métal et *vice versa*.

Je n'ai plus qu'à vous montrer que les effets chimiques qui ont lieu dans l'intérieur de la pile sont exactement les mêmes que ceux qui se passent dans le circuit extérieur, en dehors de la pile, ou bien qu'ils leur sont équivalents. Voici une pile de douze éléments; chacun d'eux est composé d'un morceau de zinc amalgamé et d'une lame de platine sur laquelle j'ai renversé la cloche de verre pleine d'eau acidulée. Les extrémités de l'axe externe, c'est-à-dire les pôles de la pile, sont deux fils de platine se terminant dans la solution acide; sur chacun d'eux est renversée une cloche de verre. Pour rendre l'expérience complète nous allons supposer que j'ai pesé les plaques de zinc amalgamé. Je ferme le circuit, le courant passe et au même instant je vois des bulles de gaz se développer sur toutes les lames de platine en dehors et en dedans de la pile. Je fais durer l'expérience un certain temps, puis j'interromps le circuit; je mesure le gaz recueilli dans les cloches, et je pèse de nouveau les zincs. Le volume d'hydrogène est le même dans toutes les cloches, en dedans et en dehors de la pile; dans chaque couple la quantité de zinc dissoute est chimiquement équivalente à l'hydrogène développé en dedans et au dehors de la pile.

Toute cette série de faits nous conduit irrésistiblement à conclure que *le travail chimique interne de la pile est égal ou équivalent au travail électro-chimique externe;* il existe donc la relation la plus intime entre l'affinité et le courant électrique, en sorte que ce dernier pourrait être comparé à un des organes qui servent à transmettre les mouvements dans les machines, avec cette différence que le courant électrique transmet l'affinité chimique intégralement et dans une direction unique et constante.

Mais nous connaissons un autre effet de la pile qui dépend d'une manière plus immédiate encore de la théorie dynamique de la chaleur; je veux parler de l'échauffement des fils métalliques et des liquides traversés par le courant. La brillante lumière électrique que vous avez certainement déjà tous admirée plus d'une fois, n'est autre chose qu'une grande étincelle électrique accompagnée de la volatilisation et de l'incandescence de la matière arrachée aux deux extrémités de l'arc qui communique avec les pôles d'une pile de Grove ou de Bunsen de cinquante ou soixante éléments.

Voici une chaîne métallique formée de trois ou quatre fils métalliques très-fins, entortillés par leurs extrémités. L'un d'eux est un fil de fer, l'autre un fil de platine, le troisième un fil d'argent, le quatrième un fil de cuivre. Lorsqu'avec les extrémités de cette chaîne je touche les pôles d'une pile de quinze ou vingt éléments de Grove, de manière que le courant parcoure les fils métalliques, vous voyez au bout de quelques secondes le fil de fer devenir rouge, puis blanc et incandescent, ensuite le fil de platine s'échauffe jusqu'à apparaître d'un rouge plus ou moins vif: les deux autres métaux s'échauffent, mais pas assez pour devenir lumineux. Voilà donc une preuve certaine de l'échauffement des corps par le passage continu de l'électricité; cet échauffement est de plus proportionnel à la résistance opposée au passage de l'électricité: le fer et le platine, moins bons conducteurs que le cuivre et l'argent, s'échauffent le plus. Puisque les liquides conducteurs offrent une bien plus grande résistance que les métaux, le courant en les traversant doit les échauffer encore plus que les métaux. Pourquoi donc l'eau du voltamètre ne s'échauffe-t-elle que très-légèrement? La réponse est très-facile; il suffit de remarquer que le courant ne passe jamais dans le liquide acidulé sans le décomposer en deux gaz, en hydrogène et en oxygène. Or, il est évident que dans cette décomposition il doit y avoir absorption d'une quantité de chaleur exactement égale à celle qui se développe lorsque les deux gaz se combinent pour reformer de l'eau; ceci revient à dire que lorsque dans un voltamètre le courant met en liberté 1 gramme de gaz hydrogène, cet effet correspond exactement à l'absorption des 34462 calories qui, comme nous l'avons vu, se développent pendant la combustion de 1 gramme de ce gaz.

Quelle est donc l'origine de la chaleur qui se développe dans le circuit d'une pile? Cette grande quantité de force vive qui accompagne la lumière électrique et qui pourrait se transformer en travail mécanique ne peut être créé de *rien*.

Nous possédons maintenant des expériences rigoureuses qui démontrent que la chaleur développée dans le circuit de la pile n'est autre chose que la chaleur développée dans l'intérieur de la pile par l'oxydation du zinc, et pour ainsi dire transportée dans le circuit. En d'autres termes, un équivalent de zinc, c'est-à-dire une quantité que nous fixerons à 33 grammes, décompose de l'eau en s'oxydant, et rend libre 1 gramme d'oxygène. Que ces 33 grammes de zinc brûlent dans le gaz oxygène en formant de l'oxyde de zinc anhydre; que plongés dans un liquide formé d'eau et d'acide sulfurique, ils se convertissent en sulfate de zinc; que cette dissolution s'accomplisse dans l'intérieur d'un couple voltaïque de manière qu'une partie de la chaleur soit employée à réchauffer l'arc métallique parcouru par le courant

Google

ou à décomposer l'eau d'un voltamètre, cette quantité de zinc produira toujours, en s'oxydant, en consommant une certaine quantité de travail chimique, la même quantité de chaleur. L'expérience a été faite avec la pile en la plaçant dans un calorimètre, et en mettant le fil métallique qui réunit ces deux piles, dans un second calorimètre. On faisait varier cet arc métallique en y plaçant des fils de nature diverse, de grandeurs et de longueurs différentes, de manière à obtenir un échauffement variable dans l'arc extérieur. Ces expériences eurent un résultat constant ; en faisant dissoudre 33 grammes de zinc dans chaque expérience, et en additionnant les nombres de calories trouvés dans les deux calorimètres, on obtient toujours la même chaleur totale de 18 682 unités.

Il est facile de voir que ce nombre s'accorde avec les phénomènes calorifiques correspondant aux actions chimiques diverses qui se passent dans une pile. En effet, nous avons à tenir compte de la chaleur développée par 33 grammes de zinc s'unissant à l'oxygène pour former de l'oxyde de zinc anhydre, absolument comme lorsque le zinc brûle dans l'oxygène ; nous savons qu'elle est égale à 42 451 calories : à cette quantité il faut ajouter 10 456 autres calories, dont l'expérience nous a appris le développement, chaque fois qu'un équivalent d'oxyde de zinc se dissout dans l'acide sulfurique. Nous avons donc 52 906 calories pour la chaleur totale développée chaque fois que 33 grammes de zinc se convertissent en sulfate. De cette somme, il faut soustraire 34 462 calories qui représentent la chaleur que développe 1 gramme d'hydrogène en brûlant pour former de l'eau, et qui, dans le cas présent, sont absorbées, par ce qu'il y a dégagement de 1 gramme d'hydrogène sur le platine de la pile; restent 18 444 unités de chaleur, nombre presque égal à celui qu'on a trouvé dans une foule d'expériences en dissolvant dans de l'eau acidulée un équivalent de zinc.

Il me serait impossible de vous montrer les expériences que je vous ai décrites, et qui ont été exécutées par M. Favre avec deux calorimètres, dans le but de prouver ces conséquences importantes de la théorie dynamique de la chaleur. Mais sans recourir aux calorimètres, je puis vous convaincre de leur vérité par des expériences bien plus simples.

Je verse dans ces trois ou quatre verres le même volume d'une solution d'eau et d'acide sulfurique; je place ensuite dans chacun d'eux un petit couple voltaïque formé d'un morceau de zinc de même poids pour chacun d'eux, et attaché à un fil de platine variable avec chacun des verres. Dans l'un d'eux, c'est un fil court et gros, dans les autres, des fils plus ou moins longs et de grosseurs variables. Vous savez déjà que dans chacun de ces éléments voltaïques circule un courant qui échauffe le fil de platine et le zinc; vous savez aussi que lorsque le fil de platine est long et fin, il se réchauffe davantage, et que quand le fil est court et gros l'échauffement est moindre. Si l'on a soin d'empêcher les verres de se refroidir, en les tenant pour cela enveloppés dans du coton, nous trouvons au moment où le zinc sera complétement dissous, la même température dans les quatre verres. La même quantité de travail chimique a donc été consommée, et ce travail a engendré la même quantité de chaleur, qui s'est distribuée inégalement dans les différentes parties du circuit traversé par le courant, selon les diverses résistances opposées à l'électricité.

Je ne puis passer sous silence une application de ces principes, qui nous expliquera les effets chimiques obtenus par les diverses piles que nous construisons maintenant. Supposons que nous ayons un couple voltaïque formé comme à l'ordinaire, par une lame de zinc amalgamée, plongée dans de l'eau acidulée, et par une lame de platine. Si au lieu de faire toucher ensemble ces deux lames de manière à fermer le circuit métalliquement, nous attachons à chacune d'elles un fil de platine, et si nous faisons plonger les extrémités libres de ces fils dans l'eau acidulée, nous aurons encore un circuit fermé, avec cette différence qu'il y aura dans le circuit une couche d'eau qui devra être décomposée pour laisser passer l'électricité. Mais tous les physiciens savent qu'il est impossible d'arriver à décomposer l'eau par l'électricité développée par un seul couple. On a beau accroître la conductibilité de l'eau, on a beau augmenter la surface du zinc, l'eau du voltamètre n'est jamais décomposée par un seul couple. La théorie dynamique de la chaleur nous donne l'explication de ce fait. La chaleur nécessaire pour décomposer l'eau est de 34 460 calories ; cet effet ne peut s'obtenir au moyen d'une pile dans le sein de laquelle il ne se développe que 18 680 unités. S'il en était autrement, le travail de la résistance dépasserait le travail moteur, ce qui serait une absurdité mécanique, si toutefois, ce qui est impossible, pareille chose se vérifiait. Lorsqu'on a soin de tenir la lame de platine plongée dans de l'acide nitrique qui empêche l'hydrogène de se développer en le forçant à se recombiner avec son propre oxygène, il n'y a plus de chaleur absorbée par la réduction opérée dans l'acide nitrique, et il reste dans le courant d'un seul couple, la quantité de chaleur nécessaire pour décomposer l'eau.

Mais il est temps de vous parler des moteurs électro-magnétiques, c'est-à-dire de ces appareils dans lesquel l'affinité chimique, sous la forme d'un courant électrique, engendre un travail mécanique.

Lorsque Davy et Arago eurent découvert l'aimantation passagère que manifeste le fer doux sous l'action du courant électrique, lorsqu'on vit la puissance des forces magnétiques qu'il était possible de produire ainsi, l'idée de se servir de l'électro-magnétisme comme force motrice ne tarda pas à surgir. Les noms de Dal-Negro, de Botto et de Jacobi surtout, méritent d'être rappelés comme ceux des premiers inventeurs des moteurs électro-magnétiques que Froment a tellement améliorés dans ces derniers temps. Il suffit de voir une seule fois un barreau de fer doux fixé par un ressort à l'une de ses extrémités et oscillant en présence des pôles d'un électro-aimant, chaque fois que le courant passe et puis s'interrompt, pour concevoir la possibilité de transformer ces oscillations en un mouvement de rotation capable de produire un travail quelconque. Ces oscillations peuvent être rendues très-rapides; en effet, Froment, employant pour les électro-aimants et pour leurs armatures, le métal le plus pur et le plus doux possible, est parvenu par des interruptions très-rapides du courant, à produire de trois à quatre cents aimantations et désaimantations par seconde ; il se produisait ainsi un véritable son qui demeurait constant, tant que le courant conservait la même intensité.

Le premier moteur électro-magnétique avait la forme d'un pendule dont la lentille était, ou bien un morceau de fer doux, ou bien un aimant d'acier, qui oscillait entre deux électro-aimants dans lesquels le courant était alternativement interrompu et rétabli par un commutateur que le pendule lui-même pouvait mettre en mouvement. Ainsi quand le pendule s'approchait, attiré par l'un des électro-aimants, le courant changeait de sens au moment même où le pendule atteignait la fin de sa course; le morceau de fer doux cessait

Digitized by Google

d'être attiré et retombait. On comprend facilement que de cette manière le poids oscillant acquiert la plus grande vitesse à l'instant où il doit changer de sens, ce qui occasionne nécessairement de grandes pertes de force vive. On reconnut bien vite que la meilleure forme à donner à ces moteurs électriques consiste à fixer les morceaux de fer doux mobiles suivant les rayons d'une roue sur un axe qui porte le commutateur. Les électro-aimants fixes sont simplement établis sur la circonférence d'une roue extérieure et concentrique, de manière que leurs pôles intérieurs soient le plus près possible des extrémités des rayons mobiles de fer doux. Lorsque le courant passe, l'électro-aimant devient actif; les rayons de fer doux sont attirés, et si l'on dispose le commutateur de façon que le courant s'interrompe, et par suite, que l'aimantation cesse, au moment même où les rayons et les pôles commencent à se rapprocher, on verra que par l'effet de la vitesse acquise les fers dépassent cette position pour être ensuite de nouveau attirés par l'électro-aimant vers lequel ils se dirigent et qui se forme à cet instant même. On a imaginé une foule de formes diverses pour ces moteurs, mais celle que je viens de décrire, et qui est due à Froment, semble jusqu'ici la plus commode et la plus utile. Le point essentiel est que la pile dont on se sert ait une résistance égale à celle du fil de cuivre entouré en spirales autour de l'électro-aimant. Un grand nombre d'expériences faites sur les électro-moteurs de l'exposition de Londres, et d'autres exécutées plus tard au Conservatoire des arts et métiers de Paris, ont montré que dans les conditions les plus favorables, la quantité de zinc consumé dans la pile par heure de travail et pour la force d'un cheval est d'environ 2 kilogrammes, sans tenir compte des frais d'acide sulfurique et nitrique ni de l'usure de la pile. Par conséquent le meilleur moteur électro-magnétique consume, pour produire le même travail, au moins autant de zinc que la machine à vapeur consomme de carbone : jusqu'ici les moteurs électriques reviennent vingt-cinq fois plus cher que les machines à vapeur. En outre, la force de l'attraction électro-magnétique croît rapidement lorsque les distances deviennent extrêmement petites, de sorte que pour ces moteurs, il ne suffit pas pour augmenter la puissance, d'accroître les dimensions de l'électro-aimant : dans la machine à vapeur la course du piston croît avec le cylindre, ce qui augmente la force de la machine, tandis que la course attractive des électro-aimants ne croît pas proportionnellement aux dimensions des électro-aimants. Froment a au contraire trouvé qu'il valait mieux se servir d'électro-aimants petits et en accroître le nombre.

Jusqu'ici les moteurs électro-magnétiques sont inférieurs aux machines à vapeur pour l'intensité et pour l'économie de la force; il ne faut cependant pas oublier qu'ils ne donnent jamais lieu à des accidents dangereux, qu'ils ont l'avantage de se mettre instantanément en mouvement, de ne consommer du zinc que quand ils effectuent un travail utile, et de pouvoir recevoir la force motrice à de grandes distances.

Après cette courte digression sur les moteurs électro-magnétiques, j'arrive au point capital pour nous. Supposons que nous placions un de ces moteurs dans un calorimètre, et que dans un autre calorimètre se trouve la pile qui le met en action. C'est la disposition à l'aide de laquelle Favre a montré que la théorie mécanique de la chaleur se vérifie aussi dans le cas des moteurs électro-magnétiques. Dans une première expérience faite sans que le moteur produise de travail mécanique, on trouva, comme nous l'avons déjà vu, que pour 1 gramme d'hydrogène développé dans le voltamètre, il s'est développé, tant dans le voltamètre de la pile que dans le calorimètre de l'électro-moteur, une quantité de chaleur peu différente de celle qu'on obtient dans la conversion de 33 grammes de zinc en sulfate de zinc. Dans la seconde expérience, le moteur électro-magnétique fut employé à soulever un poids; en lui faisant ainsi accomplir un travail représenté par 131 kilogrammètres, on obtint 308 calories de moins que dans toutes les expériences précédentes, pour le même travail chimique. On trouve ainsi, à l'aide des moteurs électro-magnétiques, pour l'équivalent mécanique de la chaleur, un nombre qui diffère peu du nombre 425, que nous avons appris à déterminer d'une manière si différente dans la leçon précédente. (1) Il y a donc dans les moteurs électro-magnétiques, comme dans la machine à vapeur ou toute machine mue par la chaleur, une transformation partielle en travail mécanique de la chaleur développée par les actions chimiques de la pile.

Il nous reste encore à chercher comment cette transformation peut arriver, à savoir quel est le fait physique qui intervient dans le jeu d'un moteur électro-magnétique, et par suite duquel la chaleur d'une pile diminue quand il y a une certaine quantité de travail mécanique produit. Je ne puis vous laisser complétement ignorer ce fait, d'autant plus qu'il nous fournit un exemple singulier, des moyens que nous avons à notre disposition pour transformer les forces, même à distance, sans que leur équivalent mécanique varie.

La plus belle et la plus instructive des nombreuses découvertes faites par M. Faraday est certainement celle de l'*induction*. Je ne m'arrêterai pas à vous décrire minutieusement les expériences fondamentales qui démontrent cette découverte, persuadé que vous ne les avez pas oubliées. Faraday a prouvé que si l'on approche un circuit parcouru par un courant galvanique d'un second circuit, sur lequel on a placé un galvanomètre et dans lequel il n'y a pas de force électro-motrice, il se développe à l'instant même dans ce dernier une force *électro-motrice induite* qui donne naissance à un courant instantané dirigé en sens contraire du courant de la pile, qui, pour cette raison, est appelé courant *inducteur*. Lorsque le circuit voltaïque cesse d'agir, lorsqu'on rompt la communication avec la pile, ou bien lorsqu'on éloigne l'un de l'autre les deux circuits, il se développe dans le circuit induit une nouvelle force électro-motrice d'intensité égale à la première, mais dirigée en sens contraire. Pour rendre manifestes ces phénomènes, on se sert dans les cabinets de physique de spirales planes ou cylindriques, qui n'ont d'autre but que d'allonger le fil métallique disposé de manière à multiplier les effets des courants inducteurs sur le circuit induit. Comme tous les effets des aimants, soit fixes, soit temporaires, peuvent être obtenus avec des spirales traversées par des courants électriques, les effets de l'induction s'obtiennent aussi avec les aimants fixes ou temporaires, comme avec ces spirales. Il suffit donc d'avoir à sa disposition une spirale cylindrique dont les extrémités sont réunies aux fils d'un galvanomètre, pour obtenir facilement tous les effets de l'induction, soit à l'aide d'une autre spirale parcourue par un courant, soit avec un aimant fixe d'acier, soit avec un aimant temporaire. Quelle que soit la manière dont on fait varier l'action magnétique ou électro-dynamique, nous aurons toujours dans le

(1) *Revue des cours scientifiques*. 1866, numéro 12, p. 193.

Digitized by Google

galvanomètre des indications du courant induit au moment même où se produit la variation. Si la variation consiste en une augmentation de l'action, la force électro-motrice induite est dirigée en sens inverse du courant inducteur, elle est au contraire dans le même sens lorsque la variation de la force inductrice consiste en une diminution.

Nous avons supposé jusqu'ici que nous opérions avec des aimants ou avec des spirales électro-magnétiques sur des fils métalliques contournés en spirale; il ne saurait y avoir la moindre difficulté à comprendre que des effets semblables se produisent dans les masses métalliques continues. Lorsque nous approchons un aimant ou un électro-aimant d'un disque de cuivre, nous sommes sûrs que dans ce disque il se produit au même instant des courants induits et que la même chose arrive lorsque l'action cesse de se produire. En effet, si nous appliquons sur le disque de cuivre les extrémités d'un galvanomètre, nous pouvons constater sur l'aiguille des effets provenant d'une portion des courants induits, qui abandonne le disque pour parcourir le circuit du galvanomètre.

Il m'importe aussi de vous montrer sous une autre forme le développement des courants induits. Voici un disque de cuivre fixé verticalement à l'extrémité d'un axe long et léger de bois, attaché par son milieu à un fil métallique très-délié, afin que l'axe soit le plus mobile possible. En face du disque se trouve le pôle d'un grand électro-aimant; dès que je ferme ou que j'ouvre le circuit de la spirale de l'électro-aimant temporaire, il doit se développer des courants induits dans le disque de cuivre.

Rappelez-vous la célèbre loi d'Ampère sur les actions attractives ou répulsives, qui se manifestent dans deux conducteurs voltaïques, selon le sens des courants électriques, dans les positions les plus rapprochées de ces conducteurs : quand les courants ont la même direction, ces conducteurs s'attirent, et quand ils ont des directions contraires, ils se repoussent. Il doit donc être possible de reconnaître les phénomènes d'induction par les effets d'attraction et de répulsion qui se manifesteront dans le circuit induit et le circuit inducteur au commencement et à la fin de l'action. C'est ce qui arrive avec l'appareil que je vous ai décrit. Au moment où je ferme le circuit de l'électro-aimant inducteur, vous voyez le disque de cuivre s'éloigner comme s'il était repoussé par l'électro-aimant, tandis qu'il se précipite sur lui comme s'il en était attiré, lorsque l'induction cesse à l'ouverture du circuit de l'électro-aimant. Les directions des courants induits, par rapport aux courants de l'électro-aimant, sont telles que ces courants engendrent des actions répulsives et attractives. Ce même effet que nous observons en créant ou en détruisant l'électro-aimant, nous pouvons l'obtenir en approchant ou en éloignant l'un de l'autre le disque et l'électro-aimant : lorsqu'on les rapproche, l'effet induit est identique avec celui qui se produit lorsqu'on aimante l'électro-aimant, et par suite le s courants induits sont dirigés de manière à produire dans chaque cas, selon la loi d'Ampère, une répulsion entre l'électro-aimant inducteur et le disque induit : lorsque, plus tard, nous éloignons l'électro-aimant du disque, l'effet produit est identique avec celui que l'on constate en désaimantant l'électro-aimant et, par suite, les courants induits auront une direction telle qu'ils produiront un mouvement d'attraction. En général, les actions électro-dynamiques attractives ou répulsives qui se développent dans le corps induit, lorsque deux corps agissent l'un sur l'autre, soit qu'on les éloigne, soit qu'on les rapproche, sont tels qu'ils tendent à rapprocher les deux corps lorsque l'induction se produit par leur éloignement et *vice versâ* : en d'autres termes, les actions électro-dynamiques, provoquées par l'induction tendent toujours à ralentir ou à détruire les mouvements qui les produisent.

L'expérience la plus éloquente à ce point de vue est celle que vous voyez préparée ici; un gros cube de cuivre est suspendu à une petite ficelle de chanvre ou de lin, que l'on peut tordre de manière à communiquer au cube un mouvement rapide de rotation dans un sens ou dans un autre. Le cube est suspendu entre deux forts électro-aimants, et, pour que son mouvement de rotation soit visible, il suffit de faire tomber une flamme sur les faces du cube qui la réfléchissent : au moment où le cube a atteint sa plus grande vitesse de rotation, je ferme le circuit voltaïque de l'électro-aimant, et vous voyez à l'instant le cube s'arrêter au milieu de l'espace, comme si nous l'avions plongé dans une masse de mercure. Lorsqu'on ouvre le circuit pour faire cesser la force inductrice, le cube reprend sa rotation. Pour rendre bien claire l'interprétation de cette expérience, il me suffit de substituer au cube massif un cube formé de simples lames de cuivre mince bien isolées les unes des autres. Je suspends ce cube comme l'autre et je le fais tourner: nous le voyons continuer indifféremment son mouvement si les lames sont suspendues horizontalement; il s'arrêtera, au contraire, presque instantanément, comme le cube massif, si les lames du cube sont suspendues verticalement. Dans ce second cas, les courants induits se développent et peuvent circuler librement et, par suite, produisent les effets connus; si, au contraire, le cube est suspendu de façon que ses lames soient horizontales, les courants induits ne peuvent circuler à cause des interruptions résulant de la disposition même des plaques.

Ces résultats étant connus, nous n'éprouverons plus de difficulté à comprendre les belles expériences par lesquelles M. Joule et surtout M. Foucault ont démontré la transformation du travail mécanique en chaleur au moyen de l'induction électrique. Dans l'expérience de M. Foucault, un disque de cuivre peut recevoir, à l'aide d'un engrenage, une rotation très-rapide, au moins de trois ou quatre cents tours par seconde. L'appareil est si mobile et si délicat qu'un effort très-léger suffit pour communiquer cette vitesse au disque. Je ferme le circuit des deux grands électro-aimants entre lesquels tourne le disque : à l'instant vous voyez ce disque ralentir son mouvement, et je suis obligé d'exercer sur la manivelle un très-grand effort pour lui faire reprendre la vitesse qu'il avait avant l'action de l'électro-aimant. Évidemment ce sont les actions électro-dynamiques entre les courants induits développés dans le disque et les électro-aimants qui tendent à ralentir le mouvement, comme vous l'avez vu se présenter il y a quelques instants dans le cas du cube de cuivre. Il s'ensuit que l'excès d'effort que je suis obligé de faire avec la main représente une certaine quantité de travail qui est la mesure de cette action électro-dynamique. Ce travail qui se consume est transformé en chaleur, et, en effet, le disque est sensiblement échauffé après un certain nombre de tours.

Je veux vous montrer une autre expérience dans laquelle cette transformation n'est pas moins évidente, et qui de plus se prête à la détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur. Nous avons ici un des moteurs ordinaires de Froment, au moyen duquel on peut soulever un poids à une certaine hauteur. Dans les électro-aimants de ce moteur,

Digitized by Google

outre les spirales dans lequel circule le courant de la pile, on a enroulé un autre fil dont les extrémités sont libres. Aussi longtemps que cette seconde spirale ne forme pas un circuit fermé, il ne pourra s'y produire de courant induit; mais si l'on réunit ses extrémités et si l'on fait ensuite fonctionner le moteur, c'est-à-dire si on le fait tourner, ce qui produit une série de passages et d'interruptions du courant, il se produira dans la spirale supplémentaire des courants induits lors de chaque établissement ou interruption du courant. Et comme il n'y a pas de courant produit sans développement de chaleur, nous verrons immédiatement un échauffement se manifester dans le fil très-fin de platine qui sert à réunir les deux extrémités du fil de la bobine induite. N'oublions pas que la source de la chaleur est la même que celle du travail mécanique, c'est-à-dire la pile, et que toute action chimique donnée développe une quantité invariable de chaleur. Que doit-il donc arriver lorsque pendant que le moteur fonctionne, il ferme la spirale induite en faisant ainsi naître une production de chaleur dans ce circuit? Il devra se produire une diminution de travail équivalente à la chaleur développée par les courants induits. C'est en effet ce que vous voyez arriver : lorsque le moteur a pris un mouvement uniforme, je ferme la spirale induite; immédiatement vous voyez la vitesse de rotation, et par suite l'élévation du poids cesser ou se ralentir considérablement. En mesurant la chaleur développée dans la spirale induite et la différence du travail effectué par le moteur avec et sans les courants induits, on a les données nécessaires pour déterminer l'équivalent mécanique de la chaleur. Par ce moyen, j'ai trouvé 438 kilogrammes pour une calorie, nombre peu différent de ceux que nous connaissons. Dans l'expérience de Foucault comme dans celle que je viens de vous décrire, les courants induits constituent le phénomène intermédiaire produisant la transformation du travail en chaleur et *vice versâ*.

Il est très-probable que ce même phénomène de l'induction électrique interviendra pour expliquer comment, dans le circuit d'un moteur électro-magnétique, il se développe moins de chaleur, lorsque ce moteur fonctionne en produisant un travail que quand il fait tourner une roue vide. Ce qu'il y a de certain, c'est que quand un moteur électro-magnétique agit et que ses armatures de fer doux tournent en présence d'électro-aimants, il se produit deux sortes d'effets dans les armatures et dans les électro-aimants. Un de ces effets consiste dans la production de courants induits en sens contraire aux courants inducteurs, conformément aux principes connus de l'induction; ces courants dominent les courants induits de même sens que le courant inducteur, parce que ces courants se produisent à la fin de l'induction à l'instant même où le circuit s'ouvre. Les courants induits de sens contraire au courant de la pile affaibliront ce dernier courant; et, en effet, dès que le moteur électrique commence à fonctionner, on voit le galvanomètre indiquer une diminution. Le second effet est celui des actions électro-dynamiques que l'induction développe entre les armatures et les électro-aimants. Ces actions tendent à ralentir le mouvement du moteur électro-magnétique proportionnellement à la vitesse.

Quoi qu'il en soit de la manière dont nous sommes obligés d'interpréter la transformation du travail mécanique en chaleur et *vice versâ*, en faisant appel aux courants induits dans le sein de la machine mue par la pile et par l'électro-magnétisme, il est sûr et certain que le phénomène de l'affinité chimique qui travaille dans l'intérieur de la pile nous fournit, comme je vous le disais en commençant cette leçon, une splendide démonstration de la théorie dynamique de la chaleur.

C. MATTEUCCI.

Traduit de l'italien par FELTZ.

INSTITUTION ROYALE DE LA GRANDE-BRETAGNE.

(LECTURES DU VENDREDI SOIR.)

M. HENRY E. ROSCOE.

(De la Société royale de Londres.)

Sur l'opalescence de l'atmosphère.

Dans une occasion précédente, le 22 mai 1864, j'ai expliqué les principes d'une méthode au moyen de laquelle nous pouvons acquérir quelques connaissances sur la distribution des rayons chimiques à la surface de la terre et sur leurs variations. Cette méthode est basée sur la comparaison des teintes qu'acquièrent le papier photographique très-sensible, quand il est exposé à la lumière. Il est évident que les rayons chimiques sont ceux qui peuvent noircir le papier préparé au chlorure d'argent. Afin qu'un tel mode de mesure soit possible, il est nécessaire, d'abord, que le papier soit uniformément sensible, et secondement que le rapport entre les différentes teintes et l'intensité de la lumière nécessaire pour produire de telles teintes soit connu. Ces rapports ont été parfaitement déterminés, et la méthode est maintenant assez parfaite pour que les observations soient faciles et certaines.

Tout l'appareil nécessaire pour ces expériences est contenu dans une petite boîte, et toutes les observations pour un jour peuvent se faire en quelques minutes.

Grâce à la bonté de M. Balfour Stewart, M. T. W. Baker a pu faire pendant l'année dernière à l'observatoire de Kew les déterminations de l'intensité chimique et de la lumière totale. On peut facilement obtenir par le moyen de ces observations séparées l'intensité moyenne journalière, et au moyen de cette dernière on peut obtenir les intensités moyennes de l'année.

Intensités chimiques ; moyenne mesurée à Kew d'avril 1865 *à avril* 1866.

1865	Avril	81,2	1865	Octobre	29,2
—	Mai	97,0	—	Novembre	12,8
—	Juin	76,9	—	Décembre	6,9
—	Juillet	100,6	1866	Janvier	13,4
—	Août	82,5	—	Février	24,2
—	Septembre	110,2	—	Mars	32,2
	Printemps	45,9		Automne	73,9
	Été	91,5		Hiver	11,0

On voit que l'état du ciel et du temps a beaucoup d'influence sur l'intensité chimique du mois, ainsi le mois de juin 1865 fut nuageux (deux jours de pluies, vingt et un jour nuageux, moyenne de jours nuageux 5,5), et l'intensité moyenne est 76,9; septembre, au contraire, fut très-clair (zéro jours de pluie, vingt jours nuageux, moyenne de jours nuageux 2,5), et l'intensité chimique atteint 110,2.

Si nous comparons les intensités moyennes des solstices et des équinoxes d'été et d'hiver, mesurées à Owens College, Manchester, nous avons :

21 juin	113
21 mars et septembre	33
21 décembre	4,7

Les nombres ci-dessus prouvent que l'augmentation de

Digitized by Google

l'action chimique de décembre à mars est loin d'être aussi grande que celle de mars à juin. On ne peut pas attribuer cette différence à l'absorption ordinaire exercée par l'atmosphère, mais on peut l'expliquer en y voyant la conséquence nécessaire d'une action absorbante particulière, que l'atmosphère exerce sur les rayons chimiques, et à laquelle on peut donner le nom d'opalescence.

On a fréquemment constaté que l'intensité chimique de la lumière sur les pics neigeux et sous les tropiques est beaucoup moindre que dans nos latitudes, et que des photographes, au Mexique, se sont vus dans l'impossibilité d'obtenir, au milieu des rayons éblouissants du soleil tropical, des épreuves qu'on eût pu obtenir en une minute d'exposition dans l'atmosphère brumeuse de l'Angleterre. J'ai été assez heureux, afin de savoir jusqu'à quel point ces assertions extraordinaires sont fondées, pour pouvoir envoyer M. T. E. Thorpe, à Parà sur l'Amazone (long. 48°30′ O., et lat. 1°28′ S.). Les expériences faites dans cette ville ont produit déjà quelques résultats intéressants ; tout d'abord, nous trouvons que l'intensité chimique moyenne journalière à Para et à Kew, les mêmes jours, sont représentés par les nombres suivants :

	Kew.	Para.	
4 avril 1866.....	19,7	260,0	ou :: 1 : 13,1
7 —	9,3	320,0	:: 1 : 34,4
13 —	45,7	326,0	:: 1 : 7,1

Les courbes obtenus ces jours-là montrent l'énorme variation de l'intensité chimique qui se produit sous les tropiques pendant la saison des pluies. Chaque après-midi régulièrement, et quelquefois à d'autres instants de la journée, les énormes nuages orageux se déchargent sous forme de pluie torrentielle et l'action chimique tombe à zéro; puis l'orage cesse et l'intensité chimique s'élève de nouveau (voyez la figure). Cela prouve que les difficultés dont se plaignent les photographes sous les tropiques ne peuvent être attribuées à une quantité insuffisante de rayons chimiques actifs.

Mais, je désire particulièrement appeler ce soir votre attention sur quelques expériences qui semblent jeter quelque

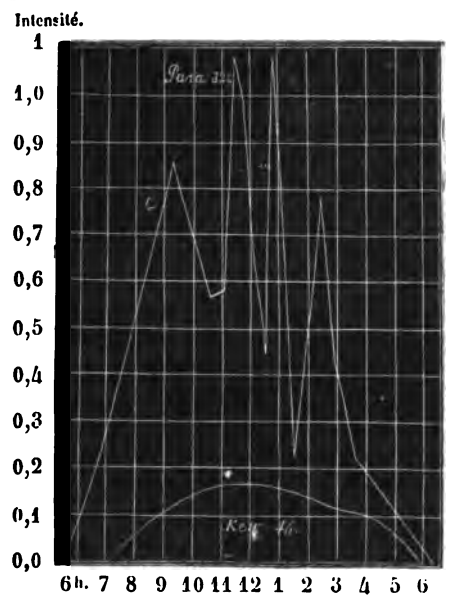


Fig. 323. — Intensité chimique de la lumière solaire directe et diffuse, observée à Kew et à Para, le 13 avril 1866.

lumière sur une question bien controversée : la cause de la couleur bleue du ciel et des teintes rosées qu'il revêt au lever et au coucher du soleil. Depuis le temps de Léonard de Vinci, ce sujet a été le thème favori de toutes les spéculations météorologiques. Léonard de Vinci, et plus tard Gœthe, croyaient que le bleu d'un ciel sans nuage était dû au passage de la lumière blanche à travers l'atmosphère contenant des particules finement divisées. Newton expliquait la couleur bleue du ciel par l'existence, dans l'atmosphère, de vésicules d'eau creuses et très-petites sur lesquelles, comme sur une bulle de savon, les couleurs deviennent perceptibles; selon que l'épaisseur des parois de ces vésicules augmentait, la couleur devait passer du bleu au jaune, à l'orangé et au rouge, et ainsi par des réflexions très-fréquentes, on pouvait expliquer les différentes teintes du bleu du ciel au rouge du coucher de soleil. Clausius, se basant sur cette théorie, a calculé les intensités relatives de la lumière directe du soleil, et de la lumière diffuse du ciel pour les différentes hauteurs du soleil.

Quelques physiciens ont affirmé que l'air lui-même a une couleur bleue, tandis que d'autres ont avancé que si l'air prend une teinte bleue sous l'influence de la lumière *réfléchie*, il doit paraître rouge par la lumière *transmise*.

D'autres enfin, pour éviter la difficulté d'expliquer la grande variété des teintes au coucher du soleil, ont avancé que ces teintes sont une déception visuelle ou qu'elles sont causées par la présence de nuages qui reçoivent et répètent la couleur !

Plusieurs physiciens ont suggéré que l'atmosphère, étant remplie de petites particules de matières solides flottantes, elle agit comme un médium opalescent et ne transmet que de la lumière rouge; mais c'est à Brücke, que nous devons un exposé complet et un examen approfondi de cette théorie. Forbes explique le phénomène d'une manière toute différente ; car, observant que dans certaines circonstances la vapeur aqueuse, ou plutôt l'eau en particules très-divisées, peut absorber les rayons bleus et que le soleil paraît rouge quand on le voit à travers une partie d'un jet de vapeur, il attribue la teinte rouge que revêt le ciel au moment du coucher du soleil uniquement à la présence de l'eau dans cet état particulier de division.

Afin d'apprécier la valeur de ces différentes opinions, il paraît fort intéressant d'obtenir quelques faits quantitatifs relatifs à l'intensité de la lumière provenant directement du soleil et de celle réfléchie par l'air ou par des particules se trouvant dans l'atmosphère. La possibilité de mesurer les parties de la lumière du soleil qui doivent indiquer de grandes différences selon qu'elles sont réfléchies ou transmises, c'est-à-dire les parties les plus réfrangibles, est rendue évidente par l'emploi de la méthode dont nous nous servons pour estimer l'intensité chimique de la lumière. Ce procédé consiste simplement à déterminer l'intensité chimique de la lumière totale (lumière directe du soleil et lumière diffuse), et immédiatement après à exclure les rayons directs du soleil au moyen d'un petit disque de métal, dont le diamètre apparent est seulement un peu plus grand que celui du disque du soleil vu de l'endroit où est placé le papier sensibilisé. On peut, de cette façon, comparer l'intensité de la lumière totale directe et diffuse avec celle du ciel seul, et la différence donne l'intensité chimique de la lumière directe.

L'expérience prouva bientôt que l'intensité relative de la lumière chimique venant directement du soleil est beaucoup moindre que nous ne devrions le supposer en jugeant de l'in-

Digitized by Google

tensité de la lumière visible. Ainsi à Owen's College, à Manchester, on a trouvé que, quand le soleil était à 12°3′ au-dessus de l'horizon, sur 100 rayons chimiquement actifs tombant sur la surface horizontale, moins de 5 étaient dus à la lumière directe du soleil, tandis que 95 venaient de la lumière diffuse du ciel, même quand il était sans nuages. Au même instant, sur 100 rayons de lumière visible affectant l'œil, 60 venaient directement du soleil et 40 seulement de la lumière diffuse du ciel. Ce singulier résultat a été aussi obtenu à Cheetham Hill, par M. Baxendell et à Heildelberg, par le docteur Wolkoff. Dans ce dernier endroit même, on a constaté plusieurs fois que tandis que la lumière du soleil était entièrement dépourvue de rayons chimiques, l'interposition du petit disque ne produisait aucune diminution dans l'action chimique.

Ainsi à des élévations variant de 0°34′ à 12°58′, dans les occasions suivantes la lumière directe du soleil avait été entièrement dépouillée de ses rayons chimiques actifs par son passage à travers l'atmosphère.

Élévation.	Lumière directe.	Lumière diffuse.
0° 34′	0,000	0,026
1 32	0,000	0,024
2 29	0,000	0,038
3 27	0,000	0,028
6 00	0,000	0,030
10 40	0,000	0,073
11 51	0,000	0,079
12 58	0,000	0,080

On a souvent observé à Kew, à Cheetham Hill et à Owens College le même état inactif du soleil à de basses élévations.

Les nombres suivants donnent les résultats d'une longue série d'observations faites à Heidelberg, par le docteur Wolkoff; à Kew, par M. Baker; à Owens College, par moi-même, et à Para (Brésil), par M. T. E. Thorpe.

Résultats d'observations à Heidelberg.

	Nombre d'observations.	Étendue de la hauteur du soleil.	Hauteur moyenne du soleil.	Intensité du ciel ou lumière diffuse.	Intensité de la lumière directe.	Rapport du soleil au ciel.
Groupe 1	10	0° à 15°	7° 15′	0,048	0,002	0,041
— 2	19	15 à 30	24 43	0,134	0,066	0,472
— 3	31	30 à 45	34 34	0,170	0,136	0,800
— 4	22	45 à 60	53 37	0,174	0,263	1,511
— 5	17	au-des. de 60	62 30	0,199	0,319	1,603

Résultats d'observations à Cheetham Hill.

	Nombre d'observations. Ciel.	Nombre d'observations. Soleil.	Hauteur moyenne du soleil.	Intensité de la lumière diffuse.	Intensité de la lumière directe.	Rapport du soleil au ciel.
Groupe 1	23	24	19° 30′	0,064	0,012	0,187
— 2	22	22	25 31	0,091	0,019	0,208
— 3	18	17	34 08	0,104	0,026	0,250

Résultats d'observations à Owen's College.

	Nombre d'observations. Ciel.	Nombre d'observations. Soleil.	Hauteur moyenne du soleil.	Intensité de la lumière diffuse.	Intensité de la lumière directe.	Rapport du soleil au ciel.
Groupe 1	33	34	17° 8′	0,066	0,007	0,106
— 2	20	24	26 38	0,074	0,008	0,108
— 3	4	5	54 12	0,140	0,043	0,308

Résultats d'observations à Kew.

	Nombre d'observations. Ciel.	Nombre d'observations. Soleil.	Hauteur moyenne du soleil.	Intensité de la lumière diffuse.	Intensité de la lumière directe.	Rapport du soleil au ciel.
Groupe 1	18	18	12° 55′	0,065	0,014	0,213
— 2	8	8	21 8	0,072	0,030	0,416
— 3	7	7	28 16	0,104	0,056	0,538
— 4	6	6	41 23	0,135	0,107	0,792

Résultats d'observations à Para (Brésil).

	Nombre d'observations. Ciel.	Nombre d'observations. Soleil.	Hauteur moyenne du soleil.	Intensité de la lumière diffuse.	Intensité de la lumière directe.	Rapport du soleil au ciel.
Groupe 1	20	20	42° 21′	0,451	0,168	0,372
— 2	25	25	62 49	0,552	0,277	0,501
— 3	25	25	77 20	0,660	0,267	0,404

La dernière colonne donne le rapport de l'intensité chimique du soleil et du ciel, la fraction de l'action de la lumière diffuse exercée par la lumière directe. Ainsi le rapport 0,106 à Owens College, signifie que si 1 représente l'intensité des rayons chimiques de la lumière diffuse du ciel entier, 0,106 est l'intensité du rayon émané directement du soleil.

Si nous comparons les nombres ainsi obtenus par l'expérience à ceux calculés par Clausius, d'après la théorie des vésicules creuses s'opposant au passage des rayons, nous remarquerons une différence très-remarquable entre les nombres produits par l'expérience et ceux produits par le calcul.

Rapport des intensités chimiques de la lumière directe à la lumière diffuse.

Hauteur du soleil.	Calculés (Clausius).	Expériences. Heidelberg.	Expériences. Cheetham Hill.	Expériences. Owen's College.	Expériences. Kew.
20°	0,491	0,350	0,19	0,10	0,36
25	0,896	0,480	0,20	0,11	0,47
30	1,320	0,650	0,23		0,57
35	1,690	0,820	0,26		0,65
40	2,032	1,000			0,75
50	2,634	1,370			
60	3,129	1,600			

Digitized by Google

Ainsi, tandis que la théorie veut qu'à une élévation de 20 degrés, le rapport de la lumière diffuse à la lumière directe soit comme 100 est à 49,1, les expériences à Heildelberg montrent un rapport de 100 à 35, celles de Kew de 100 à 30, de Cheetham Hill de 100 à 19 et à Owens College de 100 à 10; les différences à une plus grande élévation s'accroissent. Les observations furent faites à Heidelberg au sommet du Koenigstuhl, à une élévation de près de 2000 pieds au-dessus du niveau de la mer, et par conséquent, dans une position au-dessous de laquelle se trouve une partie considérable de l'air le plus dense; là, quand le soleil atteignait une élévation de 40 degrés, les rayons directs du soleil exerçaient autant d'action chimique que la lumière diffuse d'un ciel sans nuage. A l'observatoire de Kew, ce point d'égalité est encore loin d'être atteint quand le soleil est à 42 degrés. A Para, sous l'équateur, cette différence entre l'intensité chimique de la lumière directe et de la lumière diffuse devient encore plus frappante, car outre une élévation de 70 degrés le rapport de la lumière directe à la lumière diffuse est moins de 0,5; c'est-à-dire si 100 rayons sont produits par la lumière diffuse, 50 seulement le sont par la lumière directe. C'est là certainement un résultat fort remarquable. Nous voyons donc que les hautes courbes de la lumière des tropiques sont causées principalement, non par l'augmentation des rayons chimiques actifs de la lumière directe, mais par l'augmentation énorme de l'activité chimique de la lumière diffuse. Il faut se rappeler, cependant, que dans les observations faites à Para, le ciel n'était pas sans nuages et que les gros nuages réfléchissent beaucoup de lumière; il est néanmoins remarquable que sous un soleil des tropiques, à une élévation de 80 degrés, la lumière diffuse exerce une action chimique deux fois aussi grande que la lumière directe.

Il est facile de prouver que le rapport, entre les constituants chimiques actifs de la lumière directe et de la lumière diffuse, est tout différent du rapport des rayons visibles. Dans quelques expériences faites à Cheetham Hill, l'ombre d'un petit disque fut projetée sur une surface horizontale de papier blanc, et l'on estima avec soin l'éclat relatif des parties ombrées et non ombrées de la surface. On compara ces résultats avec ceux obtenus en même temps pour les rayons chimiques; le résultat de cette comparaison fut que, quand la hauteur moyenne du soleil est de 25°16′, le rapport moyen des intensités chimiques de la lumière directe et de la lumière diffuse était de 0,23 (ou pour 100 de lumière diffuse, il y avait 23 de lumière directe), tandis que le rapport des intensités visibles était 4,0 (ou pour 100 de lumière diffuse, il y avait 400 de lumière directe). Ce qui prouve que l'action de l'atmosphère était 1,74 plus grand sur les rayons chimiques que sur les rayons visibles. A Owens College, avec une hauteur moyenne de 12°3′ le rapport de l'intensité chimique était 0,053, celui de l'intensité visible étant 1,4; ou, en autres termes, l'action de l'atmosphère était 26,4 fois plus grande sur les rayons chimiques que sur les rayons visibles.

Comment expliquer ce résultat inattendu que le soleil dans tout son éclat, à une élévation de 20 degrés, produit une action chimique 10 fois moins grande que celle produite par la lumière diffuse d'un ciel sans nuages?

Une expérience peut rendre cette explication assez simple. Prenons un liquide très-légèrement laiteux, tel par exemple que de l'eau contenant en suspension le 1/10e d'un grain de soufre par gallon (4lit.,54). L'opalescence est si légère qu'à peine pouvons-nous la distinguer. Néanmoins cette trace imperceptible de soufre très-divisé suffit pour intercepter les rayons chimiques.

Ce liquide nous donne une image exacte de l'état de l'atmosphère par rapport aux rayons chimiques. Nous voyons que la lumière ayant une haute réfrangibilité ne peut pas traverser l'eau contenant du soufre finement divisé; elle est réfléchie par les particules du soufre. De même l'atmosphère est remplie de particules qui réfléchissent les rayons bleus et transmettent les rayons rouges. Quelle est la nature exacte de ces particules? C'est une question qu'il est difficile de résoudre. Nous savons cependant que l'air est toujours rempli de corps solides imperceptibles. La preuve en est la présence constante des sporules qui causent la fermentation et la putréfaction. Une autre preuve, c'est que l'analyse par le spectre indique toujours la présence du sodium dans l'atmosphère. Nous pouvons voir ces particules s'agiter dans un rayon de soleil, ou dans ces magnifiques traînées lumineuses qui accompagnent quelquefois le coucher du soleil. Peut-être la cause de ce phénomène est-elle la poussière météorique extra-terrestre qui, selon bien des physiciens, traverse constamment l'atmosphère pour tomber à la surface de la terre. Ces particules solides dans l'air *peuvent* produire les effets ci-dessus indiqués et les produisent certainement; mais nous devons nous rappeler que les petites particules d'eau ne peuvent transmettre aussi que les rayons rouges et que, comme Forbes l'a prouvé, les magnifiques teintes rouges du soleil couchant sont produites en partie par la vapeur d'eau.

Si l'on fait passer la lumière blanche d'une lampe électrique à travers un tube de trois pieds de long, fermé à chaque extrémité par des plaques de verre et rempli d'un liquide à peine opalescent, tous les rayons blancs, verts et jaunes sont interceptés, et le rayon sortant est rouge foncé. Nous avons là un coucher de soleil artificiel. Le soufre finement divisé réfléchit la lumière bleue et transmet la lumière rouge. Si le soufre opalescent diminue d'un tiers la lumière visible, il intercepte entièrement les rayons chimiques.

Le verre opale nous fournit une illustration meilleure encore peut-être de l'action de l'atmosphère sur les rayons chimiques. L'opalescence du verre est causée par la présence de particules de phosphate de calcium, ou de trioxyde d'arsenic, disséminées dans la masse. Ce verre paraît blanc ou blanc bleuâtre par la lumière réfléchie et rouge par la lumière transmise. Si nous plaçons une source brillante de lumière blanche derrière le verre, nous voyons que les rayons directs sont rouges, tandis que la lumière diffuse générale, réfléchie par les particules de matière finement divisée dans le verre est blanc bleuâtre.

Il est difficile de ne pas croire que la grosseur des particules entre lesquelles passe la lumière modifie le caractère du rayon transmis. Cette théorie est parfaitement démontrée par les magnifiques phénomènes d'or bleu et rouge qu'a étudiés M. Faraday. L'or en feuilles minces réfléchit de la lumière jaune et transmet de la lumière verte; mais l'or finement divisé, et en suspension dans l'eau transmet une lumière bleue, pourpre ou rouge, selon son état de division.

Les solutions bleues, pourpres ou rouges contiennent toutes de l'or métallique comme M. Faraday l'a démontré, et cependant elles transmettent des rayons entièrement différents.

Nous avons donc tout lieu de supposer que la grandeur des particules réfléchissantes peut aider à produire les différentes

Digitized by Google

teintes du coucher de soleil, teintes variant du rouge foncé au jaune et même au *bleu;* car il est prouvé qu'on a vu le soleil *bleu.* Ainsi, en 1831, on a remarqué que le soleil était bleu dans une grande partie de l'Europe, aussi bien qu'en Amérique.

Nous avons vu que la lumière transmise par le soufre finement divisé est rouge ; il est donc singulier qu'on puisse former du soufre bleu. Si l'on ajoute un chlorure ferrique à une solution d'hydrogène sulfuré, on obtient une teinte pourpre passagère, mais admirable; et l'on peut se demander si cette teinte est due à la grosseur des particules. Si nous chauffons de l'eau chargée d'hydrogène sulfuré jusqu'à 200 degrés centigrades, le gaz se décompose, le soufre se dépose et la solution prend une couleur bleu foncé. Cette teinte est-elle due à l'état de division extrême du soufre, division approchant presque à la solution. Le refroidissement fait disparaître la couleur, le soufre se dépose et le liquide devient laiteux. Si nous dissolvons du soufre dans de l'acide sulfurique anhydrique, il ne se passe, autant que nous le savons tout au moins, aucune action chimique, et nous obtenons une magnifique couleur bleu foncé. Est-ce encore là un résultat de la division du soufre?

Enfin, il est intéressant de savoir que les deux analogues du soufre, le sélénium et le tellurium, produisent des liquides magnifiquement colorés quand ils sont traités par l'acide sulfurique anhydre. Dans cet état, le sélénium produit une solution vert olive foncé et le tellurium une magnifique solution rouge.

Ces couleurs sont-elles produites aussi par la réflexion, ou l'absorption d'une partie de la lumière et la transmission plus facile d'une autre partie par ces particules finement divisées?

La solution d'or rouge, le verre teinté rouge au moyen de l'or, sont tous deux aussi transparents et la solution aussi véritablement un liquide que la solution rouge du tellurium. Nous savons, cependant, que de l'or métallique en suspension est la cause de cette teinte rouge. Est-il contraire à l'analogie de supposer que la cause de la coloration de ce liquide rouge réside dans des particules de tellurium, et de celle des liquides bleus et verts dans des particules de soufre et de sélénium?

Mais je sens que j'entre sur un terrain brûlant, la cause de la couleur des corps naturels. Ce n'est qu'avec beaucoup de répugnance que j'ai cité ces exemples de liquides colorés, et je ne l'ai fait que parce qu'ils interviennent forcément quand on considère le phénomène plus simple et actuellement un peu mieux compris de l'opalescence de l'atmosphère.

H. E. ROSCOE.

Traduit de l'anglais par E. BARBIER.

MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE.

ZOOLOGIE
(Annélides, Mollusques, Zoophytes).

COURS DE M. LACAZE-DUTHIERS (1).

X
Classification des Échinides

Le professeur a consacré trois leçons à l'étude de la classification des Échinides. Mais nous nous contenterons de résumer les développements considérables dans lesquels il est entré.

Au milieu des nombreuses classifications proposées, celle qu'a adopté le professeur dans son exposé est la classification de MM. Agassiz et Desor. Les caractères qu'ils ont pris, d'accord en cela avec tous les échinographes, comme base de leur classification, sont ceux qui se tirent de la position relative de l'anus et de la bouche.

Ceci posé, il se présente trois cas :

— Ou bien l'anus est directement opposé à la bouche, ces deux orifices occupent les deux pôles de l'Oursin, comme nous savons que cela est dans l'*Echinus.* C'est la famille des ÉCHINOÏDES ou des CIDARIDES.

— Ou bien, la bouche occupant toujours le pôle central, l'anus est transporté sur un côté; dans ce mouvement, une partie des organes a été entraînée d'un certain côté, l'animal s'est allongé, la symétrie est devenue un peu bilatérale : c'est la famille des CLYPÉASTROÏDES.

— Ou bien enfin la bouche s'est déplacée en même temps que l'anus, et se trouve portée en sens inverse; la symétrie est devenue complétement bilatérale : c'est la famille des SPATANGOÏDES.

Outre ces trois grandes coupes qui partagent les Oursins, MM. Agassiz et Desor ont établi dans les Clypéastroïdes deux divisions secondaires suivant qu'ils ont ou n'ont pas de mâchoires : dans le premier cas, on a le groupe des *Clypéastrides* proprement dits, dans le second, le groupe des *Cassidulides.*

Telles sont les divisions naturelles basées sur des caractères évidents, que toutes les classifications ont reproduites sous des formes multiples. On voit, en résumé, qu'il y a des *Oursins réguliers,* les Échinoïdes, et des *Oursins irréguliers,* les Clypéastroïdes et les Spatangoïdes; MM. Agassiz et Desor appellent les premiers *Endocycliques* (*Endocycla*), et les seconds *Exocycliques* (*Exocycla*), ce qui veut dire que l'un des orifices du tube digestif est rejeté en dehors du cercle de la symétrie ou bien reste dans ce cercle.

Il semble donc qu'il y ait dans l'ensemble des Oursins une progression graduée de la forme symétrique bilatérale vers la forme symétrique radiaire ; aussi, de Blainville, qui ne négligeait rien de ce qui pouvait venir à l'appui de sa croyance à la série animale, s'appuyait-il dans ses leçons et dans ses écrits sur cet exemple. « La forme générale du corps de l'animal, dit-il, qui est d'abord *subradiaire,* devient peu à peu » complétement radiaire dans toutes les parties qui la constituent. » (*Dictionn.*, art. ZOOPH., p. 181).

1re famille : CIDARIDES.

Les caractères d'organisation de cette famille nous sont familiers, puisqu'ils ont servi de type à la description de l'ordre entier. Cette famille est extrêmement nombreuse. Son importance géologique est considérable, les Cidariens apparaissent dans les terrains primaires.

MM. Agassiz et Desor la divisent en six tribus :

Les ÉCHINOMÉTRIENS, dont le test est elliptique, oblique;

Les ÉCHINIDIENS, dont le test globuleux est couvert de tubercules et par suite de piquants très-nombreux;

Les SALÉNIENS, tous fossiles, caractérisés par la présence d'une plaque *suranale,* ce qui élève à onze le nombre des plaques apicales; corps globuleux; tubercules peu nombreux.

Les CIDARIDIENS, dont les aires interambulacraires larges portent de gros tubercules, auxquels s'articulent de très-gros piquants.

(1) Voyez les nos 16, 18, 19, 22, 23, 28, 29, 31 et 47.

Digitized by Google

Les Archéocidariens et le Paléoéchiniens, groupes peu nombreux, dont le Muséum ne possède pas d'échantillons, qui ont ce caractère commun de présenter plus de deux plaques interambulacraires dans chaque zone. Ce qui les distingue, c'est la présence dans les Archéocidariens de deux sortes de tubercules perforés, les uns petits, les autres gros, tandis que tous les tubercules des Paléoéchiniens sont petits, presque égaux et imperforés.

Genres principaux des quatre premières tribus. — Échinidiens : *Astropyga, Diadema, Echinocidaris, Salmacis, Temnopleurus, Amblypneustes, Boletia, Tripneustes, Echinus, Heliocidaris.*

Échinométriens : *Echinometra, Acrocladia, Podophora.*

Saléniens : *Salenia, Peltaster, Acrosanelia, Goniopygus.*

Cidaridiens : *Cidaris, Goniocidaris, Hemicidaris, Acrocidaris, Acropeltis, Palæocidaris.*

2e famille : Clypéastroïdes.

Indiquons les principaux caractères de cette famille.

La bouche est petite, enfoncée dans une dépression, garnie sur ses bords d'un bourrelet à cinq éléments. De la bouche partent souvent des sillons qui se ramifient sur le test.

L'anus abandonne la partie apicale, il se porte sur l'arrière, entraînant avec lui les plaques périproctales ou de la membrane qui ferme l'anus. La rosette apicale, au contraire, reste opposée à la bouche.

Les aires ambulacraires ne sont plus ce qu'elle étaient dans les Oursins réguliers. On leur donne le nom de *pétales ambulacraires*. Souvent, en effet, les pores du test forment des lignes qui divergent en partant du sommet, et qui se rapprochent ensuite et s'arrêtent sans arriver jusqu'à la bouche. C'est là une caractère général à tous les Exocycliques de ne pas présenter de séries ambulacraires allant jusqu'à la bouche; parfois cependant elles reparaissent au pourtour de la bouche, mais en tout cas il n'y a pas continuité. MM. Agassiz et Valentin ont néanmoins trouvé des pores microscopiques et des ambulacres excessivement petits sur les parties des espaces ambulacraires qui semblent imperforées.

Les piquants sont petits, nombreux, ordinairement inclinés.

La forme et l'épaisseur du test sont variables; on peut, quelquefois avec difficulté, y compter dix bandes ambulacraires et dix interambulacraires.

M. Desmoulins a distingué les tubercules en *tubercules miliaires*, à peine visibles à l'œil nu, et en *tubercules spinifères*, plus gros, souvent mamelonnés et perforés. Ces tubercules ne forment jamais de lignes régulières. L'intérieur du test présente un caractère propre à beaucoup de Clypéastroïdes, remarquable surtout dans ceux qui sont très-aplatis. Des brides calcaires, irrégulières, réunissent la face supérieure à la face inférieure, formant un enchevêtrement en tous sens. Le pourtour buccal porte des auricules souvent rudimentaires, quelquefois très-développées.

L'appareil masticateur est profondément modifié : les pyramides, qui portent ici le nom de mâchoires, sont aplaties et rejetées en dehors, de telle sorte que les dents, de verticales sont devenues horizontales. Il en résulte une grande modification dans la forme de l'appareil qui est ici plat et étoilé et ne mérite plus le nom de *lanterne*.

Telles sont les principaux caractères qui différencient les Clypéastroïdes des Cydarides.

Les principaux genres de cette famille sont : les genres *Clypeaster, Laganum, Arachnoides, Scutella, Lobophora, Eucope, Rotula, Mellita.*

3e famille : Cassidulides.

Il existe encore bien des doutes sur la valeur réelle de ce groupe à titre de famille distincte des Clypéastres. Le caractère particulier de ce groupe peut en effet se traduire par ce mot : ce sont des Clypéastres *édentés*, pour employer l'expression de de Blainville.

A tout autre point de vue ce sont des Clypéastres.

Riche surtout en espèces fossiles, cette famille ne renferme que peu d'espèces vivantes. On la divise en deux tribus, les Nucléolides et les Échinonéides.

La première tribu renferme les genres *Nucleolithes, Clypeus, Cassidulus, Echinolampas, Conoclypeus*. Les Échinonéides comprendront les genres *Echinoneus, Pygaster, Galerites* et *Hyboclypus*.

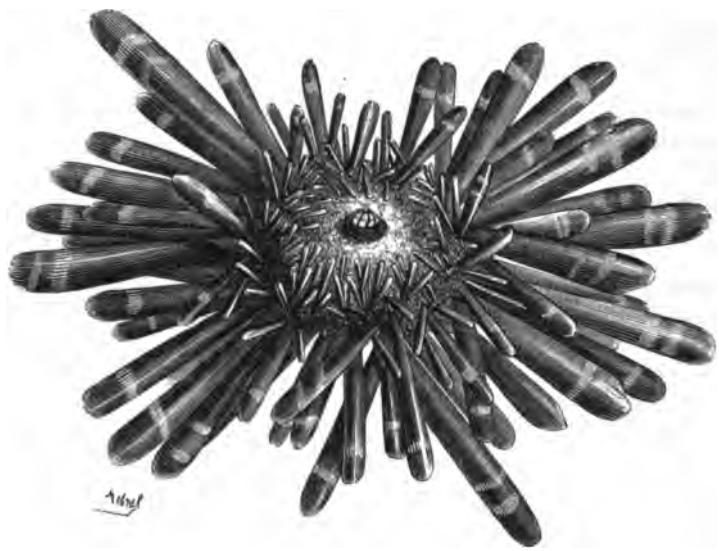


Fig. 324. — Un Oursin mameloné, *Echinus mamillatus* (d'après le *Monde de la mer* d'Alfred Fredol).

4e famille : Spatangoïdes.

Comme l'appareil masticateur manque dans cette famille, on peut dire que les Spatangoïdes sont des Cassidulides dont la bouche est portée vers le bord antérieur.

Les Spatangues ont une forme toujours allongée, souvent cordiforme; l'échancrure du cœur ou la large extrémité correspond à la face antérieure de l'animal, tandis que l'extrémité la plus large des Clypéastres est l'extrémité postérieure.

Le test présente cinq aires ambulacraires pétaloïdes; l'aire antérieure, de forme différente, est située dans un sillon ou dépression antérieure, ce qui ferait croire que les ambulacres ne forment qu'une rosette à quatre branches. La rosette apicale montre quatre pores génitaux et cinq trous ocellaires. Les piquants sont fort petits, minces, ressemblant à des soies. De plus, le test est sillonné par des bandes qui ne portent pas de piquants, mais bien, d'après M. Agassiz, des appendices analogues ou même semblables aux pédicellaires des Échinoïdes. Ces bandes, qui apparaissent lisses sur le test, sont

Digitized by Google

nommées *fascioles* par M. Agassiz; suivant leur forme et leur disposition, il leur donne des noms différents; ces différences constituent d'ailleurs d'importants caractères distinctifs pour les dénominations des genres.

Si la fasciole entoure l'ambulacre impaire ou antérieure, elle est dite *interne :* c'est ce que l'on observe dans le genre *Amphidetus*. Si la fasciole entoure les extrémités des ambulacres, elle est dite *péripétale :* ceci s'observe dans le genre *Hemiaster*. Si la fasciole, après avoir entouré les pétales, envoie ensuite deux prolongements qui descendent sur les côtés du test, on la nomme fasciole *latérale*. Ce caractère est propre au genre *Schizaster*.

Les principaux genres de cette famille sont les genres *Spatangus, Amphidetus, Brissus, Brissopsis, Hemiaster, Schizaster, Micraster*, rentrant dans un premier groupe que M. Agassiz désigne sous le nom de *Spatangues proprement dits*. Leurs caractères communs sont d'avoir des ambulacres pétaloïdes convergeant sur le dos et se rencontrant, des fascioles de différentes dispositions, une bouche bilobée.

Le deuxième groupe, celui des *Ananchytes*, a pour caractère de présenter des ambulacres non pétaloïdes convergeant sur le dos sans se rencontrer, des plaques apicales disposées en lignes, une bouche imparfaitement bilabiée. Dans ce deuxième groupe se rangent les genres *Holaster, Ananchytes, Hemipneutes* et *Dysaster*.

XI

Les Astérides : organisation et distribution méthodique.

Vous vous rappelez la raison qui nous a engagé à étudier d'abord les Oursins : c'est qu'ils semblent résumer les caractères généraux des Échinodermes et qu'il est possible de les considérer comme types de la classe.

Il nous reste maintenant, pour reprendre l'idée de de Blainville, à descendre d'une part vers les Zoophytes cœlentérés en étudiant les Stellérides qui renferment les Astérides, les Ophiurides et les Crinoïdes, à remonter, d'autre part, vers les Géphyriens et les Annelés, en faisant l'histoire des Holothurides. Les Stellérides nous occuperont d'abord.

L'ordre des Stellérides se divise en trois sous-ordres :

Les *Astérides*, dans lesquels il n'y a pas de distinction bien tranchée entre les bras et le corps;

Les *Ophiurides*, dans lesquels il est facile de distinguer un corps ou partie centrale d'où rayonnent les bras;

Les *Crinoïdes*, dont la face dorsale se prolonge en un pédoncule, ou présente les appendices locomoteurs; dans l'un comme dans l'autre cas, l'animal est renversé par rapport à la position que nous avons indiquée dans l'Oursin.

Aujourd'hui, nous exposerons les caractères d'organisation et les principes de la distribution méthodique du premier de ces sous-ordres, celui des Astérides.

Les Astérides, ou Étoiles de mer, sont connues de tous, et depuis un très-longtemps. Leur nom seul les définit. Quelque peu initié que l'on soit aux choses de la science, c'est un groupe si naturel et si bien nommé, qu'il est impossible de méconnaître les individus qui le composent.

Si vous observez l'animal vivant, vous verrez bientôt que ses bras ou rayons, de même que la partie centrale du corps, présentent de grandes différences suivant qu'on les considère dans un sens ou dans l'autre, sur l'une ou l'autre face.

Sur une face, vous trouverez les piquants, les tubercules qui caractérisent l'Échinoderme; sur l'autre, vous verrez des ventouses pédicellées, ce que nous connaissons déjà sous le nom d'*ambulacres*. Dès lors, comment poser l'animal?

Sur la face ambulacraire, on voit, au centre de l'animal, un orifice bien évident, c'est la bouche. Sur le milieu de la face couverte des piquants caractéristiques de l'Échinoderme, est une pièce calcaire impaire, analogue à cette pièce que nous avons vu exister au sommet apical de l'Oursin et que l'on a désignée sous le nom de *plaque madréporique*. Ici, cette plaque est criblée de petits trous, couverte de sillons, elle est comme scarieuse; elle est en même temps saillante et très-évidente.

Voilà donc deux points de repère, la bouche et la plaque madréporique, pour la détermination des faces de l'Étoile de mer. La face buccale ou ambulacraire sera la face inférieure, en rapport immédiat avec le sol sur lequel rampe l'animal; la face qui porte la plaque madréporique sera la face supérieure ou dorsale.

Mais il faut de plus déterminer l'avant et l'arrière, la droite et la gauche de l'animal; c'est encore la plaque madréporique qui nous servira de guide. Cette plaque est située dans un des angles formés par la réunion de deux bras Le nombre des bras de l'Astérie étant cinq, il est évident qu'elle est opposée à un bras.

Appliquant encore ici les idées d'Agassiz sur l'orientation des Oursins, et considérant comme aire ambulacraire ce bras opposé à la plaque madréporique, le problème se trouve résolu : l'animal devra être considéré comme ayant deux rayons à droite, deux rayons à gauche, la plaque madréporique en arrière, le bras opposé à cette plaque en avant.

Une autre question se présente : Quels rapports existent dans la disposition générale de l'organisme entre cette Étoile de mer et l'Oursin? En d'autres termes, comment, appliquant à l'étude de cet être nouveau les connaissances que nous avons acquises, pourrions-nous d'un Oursin faire une Astérie?

Une première difficulté se présente. Dans l'Oursin, les ambulacres sont aussi bien sur le dos que sur la face inférieure; bien plus, dans quelques espèces, comme dans les Clypéastres, ils sont surtout groupés sur le dos, très-rares à la face inférieure. Dans l'Astérie, au contraire, tous les ambulacres sont en dessous, la face supérieure est réservée aux tubercules et aux piquants. On peut facilement rétablir l'analogie par le raisonnement.

Dans les Clypéastres, les ambulacres sont, il est vrai, distribués sur le dos, mais dans quelques espèces ils reparaissent dans les sillons qui avoisinent la bouche. Supposons ceux du dos avortés, ceux de la bouche persistant et se multipliant, nous aurons une disposition analogue à celle de l'Astérie.

Mais allons plus loin dans nos suppositions. Relevons les bras de l'Astérie de façon à en réunir les extrémités : nous retrouverons alors, en considérant l'animal dans cette position, les cinq aires ambulacraires, les cinq méridiens que nous savons exister dans l'Oursin.

De plus, à l'extrémité des bras de l'Astérie, se voit un point rouge qui n'est autre qu'un corps oculaire comparable à ceux que nous avons signalés à l'extrémité des séries ambulacraires de l'Oursin et que nous avons vus réunis dans la rosette apicale. Qu'arrivera-t-il pour ces yeux de l'Étoile de mer quand nous aurons relevé les rayons de l'étoile comme je l'indique ici? C'est qu'ils sont, comme dans l'Oursin, réunis au sommet de

Digitized by Google

l'animal que nous imaginons, et qu'ils sont réellement situés à l'extrémité des aires ambulacraires.

Si par la pensée, gonflant en dôme le corps ou partie centrale de l'Astérie de façon que la plaque madréporique remonte et vienne s'interposer entre les yeux dans ce sommet que nous déterminons artificiellement, nous reproduisons un caractère de l'Oursin augmentant l'analogie entre ces deux formes d'Échinodermes, si distinctes au premier abord.

Voulez-vous maintenant que du type Oursin nous descendions au type Astérie? — Faites avorter les ambulacres au sommet, ou plutôt incisez les aires interambulacraires suivant leur grand axe, abaissez ces cinq segments qui entraîneront les points oculiformes à l'extrémité des aires ambulacraires, puis ramenez sur le dos de l'animal ainsi abaissé la plaque madréporique reployez au-dessus de chaque aire ambulacraire les deux moitiés correspondantes des aires inter-ambulacraires voisines, emprisonnant dans ces reploiements les organes contenus précédemment dans une seule cavité, et vous aurez d'un Oursin fait une Étoile de mer.

Nous allons maintenant passer successivement et comparativement en revue les différentes parties de l'Astérie, rapportant cette organisation à celle de l'Oursin. Nous retrouverons ici cette symétrie qui permet de placer toutes les parties de l'organisme, la position de l'une d'elles étant connue.

Fig. 325. — Une Astérie, l'*Astropecten spinulosus*, vue en dessus et en dessous (d'après le *Monde de la mer* d'Alfred Fredol).

Du test et des parties solides. — Il y a des différences considérables entre la composition du test de l'Astérie et celle du test de l'Oursin. De plus les pièces qui composent cette enveloppe solide varient beaucoup dans les différentes parties de cette enveloppe. Aussi la plupart des Échinographes se sont-ils occupés avec le plus grand soin des pièces osseuses des Astéries; ils ont minutieusement décrit toutes leurs particularités attachant à ces caractères d'organisation peut-être plus de valeur qu'ils n'en ont en réalité.

Les pièces dorsales comme les autres pièces du test, sont développées dans l'épaisseur de la peau. Tantôt elles arrivent au contact et tantôt restent éloignées les unes des autres. Il en résulte qu'elles peuvent être ou bien réellement articulées, ou bien seulement reliées les unes aux autres par des parties molles interposées.

De cette disposition des pièces calcaires dépend cette roideur particulière à l'Astérie vivante, roideur qui n'exclut pas une certaine flexibilité; en vertu de sa flexibilité, l'animal peut se mouler sur les corps les plus irréguliers; mais à cause de sa rigidité, une Astérie qui se sera étendue sur les anfractuosités d'un sol pierreux et que vous en détacherez, gardera quelque temps sa position première au point de ne toucher que par quelques parties de son corps le fond du vase où vous la déposerez.

Cette rigidité ne peut pas, en effet, être brusquement vaincue par l'animal lui-même. Toutes les pièces calcaires de l'Astérie lui forment comme une cotte de mailles flexible, mais flexible lentement, l'animal ne peut leur imprimer de mouvements brusques et changer brusquement leurs dispositions.

Les pièces ambulacraires, arquées en haut, laissent à la face inférieure des bras un véritable sillon auquel on donne le nom d'*avenue*. Ces pièces sont régulières. Quand on les examine par leur face interne du test des bras, on croirait à l'apparence d'une colonne vertébrale. Cette comparaison a été faite par M. Duvernoy; elle n'a d'autre valeur que de donner une idée générale de l'ensemble de ces pièces.

Sur les côtés, les pièces de cette double rangée centrale s'unissent à d'autres pièces, et c'est dans les lacunes ou intervalles que laissent entre elles ces parties calcaires que se trouvent les ambulacres. Les pièces du pourtour de la bouche, très-régulières, sont contenues dans l'épaisseur du tégument et unies par des parties molles. Les pièces dorsales sont irrégulières. Elles forment un véritable grillage à mailles de largeur et de forme diverses.

En résumé, le test des Astéries est fort différent de celui des Échinides. L'Oursin se meut d'une seule pièce, il ne peut se mouler sur la surface des corps. L'Astérie, au contraire, en allant progressivement, lentement, par l'engaînement de quelques-unes de ses pièces solides, par l'éloignement des autres, peut modifier sa forme.

Piquants. — Les piquants de l'Astérie, ou, pour mieux dire, les parties saillantes de son enveloppe rigide, sont de deux ordres ; ou bien ce sont réellement des piquants, parties cal-

Digitized by Google

caires qui hérissent l'animal, ou bien ce sont de simples saillies molles du tégument.

Les piquants proprement dits sont soudés aux pièces calcaires qui les portent et non plus articulés comme les radioles des Oursins. Ils ne peuvent se mouvoir que lorsque la partie qui les porte se meut elle-même. Ce ne sont donc pas, à proprement parler, des pièces distinctes, mais des prolongements vers l'extérieur des pièces du tégument. Ces piquants sont d'ordinaire crénelés, échinulés à leur sommet.

Les plaques tégumentaires qui portent les piquants circonscrivent des espaces ou lacunes de forme irrégulière. C'est par ces intervalles que font saillie à l'extérieur de petits cônes mobiles, membraneux, évidemment érectiles, dans la cavité interne desquels Ehrenberg a trouvé des cils vibratiles : aussi peut-on les considérer comme des organes respiratoires.

La forme, la grandeur, la disposition de ces deux ordres de parties saillantes, surtout des piquants, fournissent de précieux caractères à la détermination générique ou spécifique.

Ambulacres.—Les ambulacres ont, dans l'Astérie, une apparence tout à fait identique avec celle que nous a offerte le groupe des Échinides. Cependant elles ne présentent ni le cadre, ni la rosace que nous avons décrits; les pièces calcaires font ici complétement défaut. Logés dans l'avenue ou le sillon de la face inférieure des bras, les ambulacres servent à la locomotion de l'Astérie bien plus activement que dans les Oursins; ils sont très-contractiles.

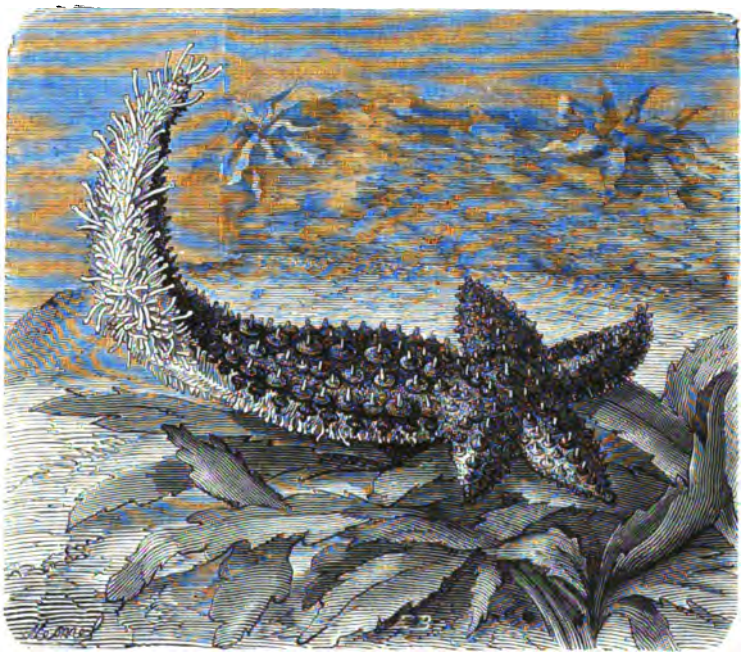


Fig. 326. — Astérie en pleine reproduction de ses rayons, dessinée sur le vivant à Concarneau (d'après le *Monde de la mer* d'Alfred Fredol).

Pédicellaires. — Les pédicellaires sont peut-être plus nombreux que dans les Oursins. Ils se présentent, chez l'*Asteracanthion rubens* en petits paquets très-faciles à observer à la base des piquants. Leur forme les différencie de ceux des Oursins : ils sont, dans l'*Asteracanthion gelatinosus*, par exemple, à deux valves comparées aux deux branches d'un forceps; pour cette raison on les a appelés *forcipati*.

Quelquefois ils sont sessiles, sans pédoncule, comme dans le genre *Astrogonium*. Souvent alors ils sont formés de deux larges valves, et pour cette raison sont appelés *valvaires*.

Je n'ai qu'à vous signaler ces différences. Quant aux fonctions, il semble évident que ce sont des organes préhenseurs.

Organes de la digestion. — L'appareil de la digestion des Astéries est très-différent de l'appareil digestif des Oursins.

La bouche est située au milieu de la face inférieure du corps, au point central de rayonnement des bras. L'appareil masticateur manque totalement. A la bouche fait suite un œsophage très-court qui s'ouvre dans un large estomac; un rectum très-court prolonge le tube digestif jusqu'à l'anus, qui est situé à la face supérieure ou dorsale, déjeté d'ordinaire sur le côté. L'anus manque dans un certain nombre d'espèces, ce qui a permis d'établir une division de premier ordre dans le groupe entier.

Le tube digestif est donc très-court, puisque sa longueur ne mesure que l'épaisseur du corps de l'Astérie. Mais dans l'estomac s'abouchent cinq cæcums, correspondant à chacun des bras de l'Étoile. Ce prolongement du tube digestif pénètre dans la cavité des bras, s'y bifurque; chaque branche de bifurcation s'entoure d'éléments glandulaires chargés sans doute de sécréter un liquide propre à la digestion. On donne à ces prolongements les noms de *cæcums radiaux*.

Il existe quelquefois des glandes analogues, mais beaucoup plus petites, qui s'ouvrent de la même façon dans le rectum. Ces glandes existent dans l'*Asteracanthion rubens*, où elles sont au nombre de deux. Elles manquent toujours quand manque l'anus.

En résumé, ce qui différencie le tube digestif de l'Astérie du tube digestif de l'Oursin, c'est l'absence de mâchoires et la présence de glandes annexes.

Appareil de la circulation et de la respiration. — Je dois vous indiquer ici un organe nouveau dont la connaissance est nécessaire pour déterminer la position du cœur dans les Astérides. On donne à cet organe le nom de *canal du sable*. C'est un sac membraneux, allongé, qui part de la plaque madréporique et se dirige obliquement, en traversant toute la cavité générale de l'Astérie, vers la bouche. Il est rempli de particules calcaires organisées. On ne connaît rien de positif sur les usages de cet organe.

Von Siebold admet qu'un cœur longe le canal du sable et s'étend comme lui du voisinage de la bouche au voisinage de l'anus. Il admet encore « trois anneaux vasculaires, dont l'un » est situé supérieurement sous la peau du dos, et les deux » autres inférieurement autour de l'ouverture buccale ». Tout ceci, il faut en convenir, offre bien des obscurités.

Quant à la respiration, nous ne retrouvons pas ici les branchies externes que nous avons vu exister dans l'Oursin. On peut peut-être, avec quelques auteurs, considérer comme organes respiratoires ces saillies membraneuses et érectiles que je vous ai signalées entre les pièces calcaires de la face dorsale de l'Astérie.

Les ambulacres seraient également, pour Von Siebold, des organes de la respiration, Ce savant admet, du reste, un appareil aquifère à anneau vasculaire central autour de la bouche, duquel partiraient des canaux chargés de porter l'eau

Digitized by Google

nécessaire à l'hématose dans le corps de l'animal. Mais à sa description, il joint une note où il dit : « Je ne suis pas encore fixé sur la question de savoir par quelle voie se remplit le système aquifère des Astéroïdes, si c'est par l'extrémité des ambulacres ou par l'anneau buccal. Je n'ai pu m'assurer de la présence d'une ouverture au sommet des premiers de ces organes. »

Il y a donc encore bien des doutes permis, bien des recherches à entreprendre sur divers points de l'anatomie et de la physiologie de ces êtres, et en particulier sur l'existence d'organes propres à la respiration.

Système nerveux. — La plus grande analogie existe dans la disposition du système nerveux chez les Oursins et les Astéries. Chez ces dernières, il se résume encore en un anneau œsophagien, plus ou moins pantagonal, de chaque angle duquel part un nerf qui suit le sillon ventral du rayon. Ici comme dans l'Oursin, le nerf longe donc l'aire ambulacraire pour aboutir au petit corps rougeâtre qui termine cette aire et que nous savons être, pour la plupart des auteurs, un organe de sensation spéciale, un œil.

L'œil des Astérides est multiple. A l'extrémité des bras se voit une tache rouge, cachée par les ambulacres et les piquants. Cette tache est formée par la réunion de petits corps dont chacun serait un œil. On donne à l'ensemble le nom de *bulbe oculaire* ou *oculifère*.

Chacun des petits corpuscules de cette masse ou chaque œil est formé d'une cuticule ou membrane d'enveloppe anhiste, transparente, entourant une couche de cellules épithéliques dans l'épaisseur de laquelle sont groupées des cellules à pigment rouge qui donnent au bulbe sa couleur. Ces cellules rouges englobent un corps arrondi, transparent, qui fait saillie au milieu de la masse cellulaire vers la cuticule d'enveloppe, et que l'on considère comme un cristallin. Telles sont les parties qui composent l'œil, ou l'un des ocelles de la masse ou du bulbe oculaire d'après Haeckel, qui a décrit et figuré cette organisation.

Organes de la reproduction. — Nous ne ferons que constater la description de ces organes, réservant pour plus tard l'exposition des faits relatifs à l'embryogénie.

Les glandes de la reproduction ne peuvent plus ici être en rapport avec les zones interambulacraire puisqu'à ces espaces correspondent dans l'Astérie de profondes incisions qui partagent le corps en rayons. Elles se trouvent logées dans les bras, en rapport avec les appendices cæcaux de la digestion.

Le sexe ne peut se reconnaître par les caractères extérieurs des glandes ; il faut avoir recours au microscope.

Le volume de ces glandes est énorme. Leur structure est la même que chez les Oursins : ce sont encore des culs-de-sac sécréteurs dont les parois sont tapissées de cellules dans lesquelles se développent les œufs ou les spermatozoïdes.

Quant aux orifices de ces glandes, ils occupent toujours une position analogue à celle que nous avons appris à connaître : comme dans l'Oursin ils correspondaient aux espaces interambulacraires, dans l'Astérie ils correspondent aux intervalles des bras : on les voit former d'ordinaire deux groupes au sommet de l'angle formé par la réunion de deux bras. Ces orifices, multiples contrairement à ce que nous avons vu chez l'Oursin, sont petits, cachés comme l'anus au milieu des tubercules de la peau, et difficiles à voir.

Distribution méthodique des Astérides. — Les classifications proposées sont nombreuses. Les plus anciennes sont basées sur la forme générale du corps et divisent les Astéries en *discoïdes*, *étoilées* et *multipinnées*. Mais c'est surtout sur le nombre des ambulacres et sur la présence ou l'absence de l'anus que s'appuient les classifications adoptées aujourd'hui.

MM. Troschel et Müller, dont l'important travail est le plus récent, partagent les Astéries en trois groupes naturels, suivant qu'ils ont quatre séries d'ambulacres, ou deux séries et un anus, ou deux séries et pas d'anus. Ils n'ont pas donné de nom particulier à chacun de ces trois groupes, et l'on ne saurait que les en louer ; ils ont pourtant changé souvent sans raison les noms des genres formés par Agassiz. C'est leur méthode qui a été suivie, dans la distribution des espèces du Muséum, c'est elle que nous suivrons.

Première famille. — Les individus qui composent cette première division sont caractérisés par la présence de quatre séries longitudinales de tentacules ambulacraires. Des piquants bordent les sillons ventraux des bras. A cette famille appartient l'Astérie commune de nos côtes, l'*Asteracanthion rubens*, *Asterias rubens* de Lamarck, *Stelliona rubens* d'Agassiz, *Uraster rubens* de Forbes.

Deuxième famille. — Dans ce deuxième groupe, les rangées ambulacraires sont seulement au nombre de deux ; le tube digestif est à deux orifices. Elle comprend les genres *Echinaster*, *Solaster*, *Chœtaster*, *Ophidiaster*, *Scylaster*, *Culcita*, *Asteriscus*, *Oreaster*, *Astrogonium*, *Goniodiscus*, *Stellaster*, *Asteropsis*, *Archaster*.

Troisième famille. — Dans cette division il y a encore deux rangées d'ambulacres, mais l'anus manque. Elle renferme les genres *Astropecten*, *Ctenodiscus* et *Luidia*. — L. Hallez.

Muséum d'histoire naturelle.

PHYSIQUE APPLIQUÉE (lundis et vendredis à onze heures un quart).— M. BECQUEREL (de l'Institut), professeur, a ouvert ce cours le lundi 5 novembre, à onze heures un quart, et le continue les lundis et vendredis suivants à la même heure.— Il traitera : 1° de la formation du globe terrestre, des terres et des mers ; des sols et de leurs propriétés physiques ; 2° de l'atmosphère et de ses phénomènes calorifiques, lumineux, de pression atmosphérique, aqueux et électriques ; 3° des climats et de leur influence sur l'agriculture, sur la vie organique et l'hygiène publique.

AVIS.

Les abonnés dont l'époque de renouvellement échoit à la fin de novembre, et qui désirent à cette occasion changer les conditions de leur souscription et profiter des avantages que leur présente, soit l'abonnement d'un an, s'ils ne sont abonnés qu'au semestre, soit la souscription aux deux *Revues des cours scientifiques* et *littéraires*, sont priés d'avertir immédiatement M. Germer Baillière, en lui envoyant un mandat sur la poste ou des timbres-poste.

Les abonnés qui, d'ici à la fin de novembre, n'auront fait parvenir aucun avis au bureau de la *Revue*, seront considérés comme désirant continuer leur abonnement dans les mêmes conditions. En conséquence, ils recevront par l'entremise des porteurs, soit à Paris, soit dans les départements, une quittance analogue à celle qui leur a été déjà remise lors de leur première souscription.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE — NUMÉRO 51 — 17 NOVEMBRE 1866

Paris, le 16 novembre 1866.

M. de Quatrefages a présenté lundi dernier, à l'Académie des sciences, le livre qu'il vient de publier sur les races polynésiennes et leurs migrations. Nous renvoyons nos lecteurs aux leçons faites par M. de Quatrefages, l'année dernière, sur ce sujet, et insérées à cette époque dans la *Revue des cours scientifiques.*

M. Pasteur a communiqué, au nom de M. Gernez, la suite de ses recherches sur les dissolutions sursaturées. On connaît les travaux de M. Pasteur sur la dyssimétrie moléculaire des composés organiques, et en particulier sur l'acide tartrique. Il existe deux acides tartriques de même composition chimique, mais de constitution cristalline différente, et qui sont entre eux comme la main droite et la main gauche. L'un, l'acide tartrique droit, dévie à droite le plan de polarisation de la lumière; l'autre, l'acide tartrique gauche, dévie à gauche ce même plan. En se combinant, ils forment un troisième acide, l'acide paratartrique, qui est inactif, c'est-à-dire sans action sur le plan de polarisation de la lumière qui le traverse, et qu'on peut comparer aux deux mains jointes.

M. Gernez a préparé des dissolutions sursaturées de ces trois acides, et il a constaté que la dissolution de l'acide droit cristallisait immédiatement si l'on y laissait tomber un cristal droit, mais n'éprouvait aucune modification sous l'influence d'un cristal gauche; inversement le cristal gauche fait cristalliser l'acide gauche tandis que le cristal droit reste sans action sur lui. Enfin si on laisse tomber un cristal droit dans une dissolution sursaturée d'acide paratartrique, cet acide est dédoublé et l'acide droit cristallise immédiatement, tandis que l'acide gauche reste en dissolution; si l'on emploie un cristal gauche, c'est l'inverse qui se produit: l'acide gauche cristallise et l'acide droit reste en dissolution.

L'acide malique présente des particularités de constitution moléculaire analogues à celles de l'acide tartrique, et M. Gernez se propose d'étudier au même point de vue ses dissolutions sursaturées.

La séance d'inauguration de l'Athénée, qui devait avoir lieu cette semaine, se trouve remise à mercredi prochain 21 novembre, à huit heures et demie. Le lendemain jeudi, M. Lissajous fera une conférence sur l'*Acoustique des yeux* qui sera accompagnée de nombreuses expériences. Le jeudi suivant, — pour ne parler ici que des conférences. scientifiques, — M. Delaunay (de l'Institut), qui est en ce moment à Compiègne, traitera de *la Lune.* E. A.

INSTITUTION ROYALE DE LA GRANDE-BRETAGNE.

(LECTURES DU VENDREDI SOIR.)

M. F. A. ABEL.

(De la Société royale de Londres.)

La poudre à canon. — Les nouvelles poudres.

Les changements effectués dans la composition de la poudre à canon depuis sa première application comme agent propulseur, se bornent à quelques petites variations dans les proportions de ses parties constitutives. Mais les modifications qui, de temps en temps, ont été introduites dans les détails de la fabrication de la poudre, c'est-à-dire la préparation des ingrédients, leur incorporation et la conversion du mélange en masses compactes (grains, etc.) de grandeur et de densité différentes, ces modifications, dis-je, ont été assez importantes et assez couronnées de succès pour que la poudre à canon satisfasse maintenant d'une manière assez complète aux différents besoins de la science militaire et des différentes industries.

Le caractère de la poudre à canon, comme substance explosible permanente, dont l'action est susceptible de grandes modifications, est dû principalement aux propriétés particulières de l'agent oxydant, le salpêtre. On a souvent essayé de remplacer cette substance par d'autres azotates (tels que ceux de sodium, de plomb et de baryum); mais quoiqu'on soit arrivé ainsi à préparer des poudres propres aux opérations des mines (telles que la poudre de sodium et la poudre de baryum, ou *poudre saxifragine*), tous les mélanges de cette espèce inventés jusqu'à présent ont des défauts importants, quand on les compare à la poudre à canon fabriquée pour les armes à feu.

L'agent oxydant si bien connu, le chlorate de potasse, qui ne diffère du salpêtre qu'en ce qu'il contient du chlore au lieu d'azote, a sur les corps oxydables une action bien plus éner-

gique qu'aucun azotate. Ainsi un mélange de chlorate de potasse et de charbon seul détone aussi violemment que la poudre à canon, et s'enflamme bien plus rapidement que cette dernière par la percussion; tandis qu'un mélange analogue à la poudre à canon, mais contenant du chlorate de potasse au lieu de salpêtre, détone avec violence quand on le frappe modérément, et sa rapidité d'explosion le rend trop destructeur pour qu'on puisse l'employer dans les armes à feu.

Il y a bien des années, on proposa et l'on essaya sans succès, pour remplacer la poudre à canon, un mélange connu sous le nom de poudre allemande ou poudre blanche. Ce mélange était formé de chlorate de potasse, de ferrocyanure de potassium et de sucre. Depuis lors, on a proposé bien des préparations d'un caractère semblable, soit pour les employer dans les opérations de mines, ou dans les bombes, soit même pour les appliquer à tous les usages de la poudre à canon. Les plus remarquables de ces préparations, que M. Hosley et le docteur Ehrhardt réclament comme découvertes par eux faites, sont des mélanges de chlorate de potasse avec des substances d'un caractère permanent et facilement obtenues, contenant du carbone et de l'hydrogène, telles que l'acide tannique, l'acide gallique et quelques espèces de résine. Ces mélanges détonent bien moins violemment que la plupart des mélanges explosibles contenant du chlorate de potasse, et, bien préparés, ils sont certainement plus puissants que la poudre à canon. Dans les opérations de mine, ils offrent bien des avantages que n'a pas la poudre ordinaire, et peut-être pourrait-on s'en servir à la chasse; mais on ne peut pas les employer dans les fusils de munition, parce que, afin d'assurer l'uniformité d'action nécessaire, il faudrait soumettre les ingrédients à un mélange intime, tel que celui que l'on fait subir à la poudre à canon; et ce traitement rendrait les mélanges beaucoup plus violents et, par conséquent, beaucoup plus destructeurs pour les armes à feu que des mélanges incomplets.

Un fabricant allemand de produits chimiques, M. Hochstadter, proposa, il y a environ six ans, une application, comparativement innocente, du chlorate de potasse pour la fabrication d'une nouvelle poudre à canon. Du papier non collé était saturé puis revêtu d'une pâte légère formée de chlorate de potasse, de charbon en poudre, d'une petite quantité de sulfure d'antimoine et d'un peu d'amidon, de gomme ou de quelque corps semblable, l'eau servant de dissolvant. Le papier était enroulé et séché sous cette forme. On obtient ainsi des rouleaux très-solides d'une matière explosible qui brûle à l'air libre avec une grande violence et dont l'effet de propulsion dans les petites armes est souvent plus grand qu'une charge correspondante de poudre à canon. En outre, cette matière, soumise en petites parties à une forte percussion, a peu de tendance à faire explosion. Mais, comme on ne saurait compter sur une uniformité d'action suffisante de ces rouleaux dans les armes à feu, ils ne peuvent remplacer la poudre. Une préparation semblable, ne diffèrent de celle de M. Hochstadter que par de légères modifications des parties constituantes, modifications qui, probablement, ne la rendront pas meilleure, a été récemment imaginée en Angleterre par M. Reichen et M. Melland.

On a appliqué à l'exploitation des mines une ou deux préparations explosibles plus grossières contenant du chlorate de potasse seul et mélangé à du salpêtre. L'une de ces préparations consiste en petits morceaux de tan, saturés de l'agent oxydant, puis recouverts d'une couche de soufre en poudre. Quant on applique à cette préparation une flamme ou un fer rouge, elle détone lentement et imparfaitement; mais quand on l'emploie dans des trous de mine, où elle est comprimée dans un petit espace, elle développe une force explosible suffisante. L'inventeur, outre un grand bon marché comparatif, invoquait en faveur de cette poudre le grand avantage de la sûreté contre les explosions; avantage prouvé, du reste, car l'usine où elle se fabrique, auprès de Plymouth, a été incendiée deux fois sans qu'il se soit produit d'explosion.

Les explosions accidentelles de poudre à canon dont on entend quelquefois parler arrivent ordinairement dans les fabriques de poudre et dans le cours de certaines opérations (principalement celle du mélange) auxquelles cette matière est soumise. Le seul moyen de se préserver, ou tout au moins de réduire autant que possible le nombre des accidents, c'est d'apporter la plus grande vigilance dans les mesures de précaution que l'expérience a indiquées comme essentielles et qui, malheureusement, en dépit de la plus stricte surveillance, sont souvent négligées ou éludées par les ouvriers. Des explosions de poudre, ordinairement fort graves, arrivent quelquefois aussi, mais très-rarement, pendant le transport de la poudre ou dans les poudrières. La grande explosion d'un magasin de poudre à canon à Érith, en septembre 1863, a appelé principalement l'attention du gouvernement et du public sur les mesures qu'il était nécessaire d'adopter pour réduire autant que possible les risques de voir se renouveler des accidents aussi désastreux. Aussi le procédé que M. Gals a rendu public, et qui consiste à mélanger la poudre, ou, en autres termes, à en séparer les grains au moyen d'une autre substance en poudre non explosible, a-t-il vivement excité l'intérêt public. On a essayé bien des fois de mettre en pratique ce fait, patent pour tous ceux qui connaissent la nature de la poudre à canon, qu'en interposant entre les grains de poudre une certaine quantité de substance finement divisée qui offre une grande résistance à la transmission de la chaleur, on peut faire brûler les grains séparés de la masse entière sans risquer d'enflammer les grains contigus. Piobert exécuta, en 1835, une série d'expériences dans le but d'appliquer cette propriété, pour réduire le risque d'explosion de la poudre à canon, et de nombreuses expériences semblables furent faites par un chimiste russe, Fadéiff, entre 1841 et 1844. Ces expérimentateurs découvrirent qu'ils pouvaient atteindre le but désiré en mélangeant la poudre à un de ses constituants, ou en employant pour ce mélange du sable fin, substance ressemblant beaucoup au verre réduit en poudre que propose actuellement M. Gale; mais ils paraissent avoir préféré une forme particulière de carbone. On ne voulait pas arriver à empêcher la combustion d'une masse de poudre à canon quand une étincelle en atteignait une partie, mais réduire assez la rapidité de la combustion pour prévenir une violente explosion. M. Gale ne se propose rien de plus par l'emploi du verre en poudre dans les proportions qu'il indique.

Il serait, d'ailleurs, absolument nécessaire de changer la proportion de substance non explosible avec les différentes quantités de poudre pour prévenir les explosions; la quantité à employer pour la poudre à canon devrait au moins être le double de celle qui empêcherait la combustion des poudres fines ou des poudres dont on se sert dans les opérations de mines, et c'est avec ces dernières que les expériences publiques de M. Gale ont été faites. Bien qu'une dilution suffisante de la poudre à canon puisse assurer une sécurité assez grande au

Digitized by Google

voisinage de grandes poudrières ou aux équipages de navires de commerce transportant de la poudre, pour compenser l'incommodité résultant d'un volume beaucoup plus considérable, on ne peut douter qu'il y aurait plus d'un obstacle sérieux à traiter ainsi les poudres destinées à l'armée et à la marine. Ainsi, par exemple, à moins que ces poudres ne soient considérablement diluées, il y aurait lieu de craindre que la substance non explosible se séparât pendant le transport par terre ou par mer, et que le but proposé ne fût pas atteint; l'addition considérable qu'il y aurait à faire aux aménagements de transport ; la nécessité de faire à bord d'un vaisseau ou sur le champ de bataille la séparation de la poudre et du verre, la fabrication des cartouches et des bombes, ce qui prendrait un temps considérable et serait fort dangereux; enfin, par-dessus tout, les dangers incalculables qui se produiraient inévitablement si le soldat ou le marin s'habituaient à penser que la poudre est inoffensive : car il est absolument nécessaire qu'on finisse par la leur donner sous sa forme explosible. L'extrême rareté des accidents à bord des vaisseaux de guerre ou pendant une campagne est due à la stricte application de règlements dont quelques-uns peuvent d'abord paraître exagérés ou même absurdes, mais qui ont pour effet de rendre toujours présents à l'esprit le danger lui-même et la vigilance indispensable pour l'éviter.

Une des substances les plus remarquables récemment employée pour remplacer la poudre comme agent destructeur est la nitro-glycérine. Cette substance, découverte par Sobrero en 1847, se prépare en ajoutant de la glycérine par petites quantités successives dans un mélange formé d'un volume d'acide nitrique ayant une densité de 1,43 et de deux volumes d'acide sulfurique ayant une densité de 1,83. On refroidit artificiellement l'acide pendant l'addition de la glycérine; puis le mélange est versé dans l'eau : un fluide huileux se sépare, il est insoluble dans l'eau, il n'a pas d'odeur, il a une saveur douce et âcre ; c'est un poison violent, une fort petite quantité placée sur la langue causant un violent mal de tête qui dure plusieurs heures.

Le liquide huileux a une densité de 1,6 et se solidifie à 5 degrés cent. ou 40 degrés Farh.; si l'on approche une flamme de la nitro-glycérine, elle brûle simplement, et si on la place sur du papier ou sur du métal et qu'on la tienne au-dessus d'une source de chaleur, elle fait explosion, mais faiblement, puis brûle avec beaucoup de fumée. Si l'on porte un coup sec au papier imbibé de cette substance, il se produit une détonation assez violente.

M. Alfred Nobel, ingénieur suédois, essaya le premier, en 1864, d'employer la nitro-glycérine comme agent explosible.

Il fit d'abord quelques expériences sur de la poudre à canon dont les grains avaient été saturés de nitro-glycérine. Cette poudre brûla à l'air libre avec une flamme un peu plus brillante qu'à l'ordinaire. Enfermée dans une bombe ou dans des trous de mine, elle produisait un effet plus intense que la poudre ordinaire, son action destructive étant cinq ou six fois plus grande. Il était impossible d'employer le liquide dans les travaux de mines, l'application de la flamme au moyen de la fusée ordinaire ne causant pas d'explosion. Mais M. Nobel est parvenu, en employant une fusée spéciale, à se servir du liquide seul comme puissant agent destructeur. On introduit la charge de nitro-glycérine dans un récipient convenable qu'on place dans le trou de mine, et l'on fixe immédiatement au-dessus du liquide une fusée à l'extrémité de laquelle est attachée une petite charge de poudre à canon. L'ébranlement qui résulte de l'explosion de la poudre produit l'explosion de la nitro-glycérine.

Les expérimentateurs, en Suède et en Allemagne, estiment l'action destructive de cette substance à environ dix fois celle d'un poids égal de poudre. Aussi, quoique le prix de la nitro-glycérine soit environ sept fois celui de la poudre, l'emploi en est fort économique, surtout dans les roches dures, le travail préliminaire étant de beaucoup diminué, car les trous de mine peuvent être plus petits que lorsqu'on emploie de la poudre. Dans quelques parties de l'Allemagne et de la Suède, on se sert fréquemment de cette substance. En Angleterre, la seule expérience qu'on ait faite jusqu'à présent a eu lieu en Cornouailles ; dans cette expérience, un bloc de fer forgé, pesant environ 300 tonnes, a été brisé en morceaux par l'explosion d'une charge de moins d'une once de nitro-glycérine qu'on avait introduite dans une cavité centrale.

La nitro-glycérine paraît donc posséder d'importants avantages sur la poudre comme agent destructeur, mais les essais faits pour la substituer à cette dernière ont déjà été accompagnés des résultats les plus désastreux, qu'il faut attribuer en partie à quelques-unes de ses propriétés et à l'instabilité évidente du produit commercial, mais principalement à l'imprudence des personnes intéressées à son emploi ; ces personnes, soit trop grande confiance dans sa permanence et sa sécurité comparative, soit par des motifs moins excusables, ont laissé ignorer aux capitaines de navires et à d'autres personnes chargées du transport de cette substance son dangereux caractère.

On ne connaîtra probablement jamais les causes précises des terribles explosions de nitro-glycérine qui ont eu lieu à Aspinwall et à San-Francisco ; mais leur cause indirecte, tout au moins, semble avoir été la décomposition spontanée de cette substance, décomposition produite ou accélérée par la température élevée des parties du bâtiment dans lesquelles elle était arrimée. On peut citer des cas où la rupture violente de vases contenant la nitro-glycérine a été occasionnée par l'accumulation de gaz engendrés par sa décomposition graduelle. Il n'est pas impossible qu'un résultat semblable, favorisé par la chaleur de l'atmosphère et déterminé par quelque agitation accidentelle de la nitro-glycérine, ait été la cause première de ces terribles accidents. Les grandes difficultés à surmonter, commercialement parlant, pour l'épuration de la nitro-glycérine, l'instabilité de la substance même quand elle est purifiée, en laissant de côté son caractère vénéneux et son extrême tendance à faire explosion quand elle est sous la forme solide, sont des obstacles insurmontables à son emploi sur une grande échelle pour remplacer la poudre à canon.

La conversion de la lignine ou fibre du bois en une substance explosible, de la même nature que le coton-poudre, fut accomplie par les chimistes peu après la découverte du coton-poudre par Schönbein. On peut facilement débarrasser la sciure de bois des substances étrangères à la cellulose. Si l'on soumet alors cette sciure de bois purifiée à l'action d'un mélange d'acide nitrique et d'acide sulfurique, on obtient une substance très-explosible semblable au coton-poudre et possédant apparemment une grande stabilité. Le capitaine Schultze, officier d'artillerie en Prusse, fut, il y a quelques

Digitized by Google

années, chargé par son gouvernement de recherches sur le coton-poudre; cet officier semble en être arrivé à cette conclusion que le bois très-divisé offrait plus d'avantages que le coton-poudre comme agent explosible. Le résultat de ses investigations a été la production d'une poudre à base de sciure de bois dont les propriétés explosibles dépendaient en grande partie de son oxydation, soit au moyen du salpêtre, soit par un mélange de ce sel avec de l'azotate de baryum. Le capitaine Schultze, après avoir réduit le bois à un état de division assez uniforme, le soumet à une purification dans le but de séparer la lignine des morceaux résineux; le produit ainsi purifié est converti par l'immersion dans l'acide nitrique et l'acide sulfurique en une substance faiblement explosible, qui laisse après la combustion un résidu charboneux considérable. Ce produit, après épuration, est imprégné d'une quantité suffisante d'azotates pour lui donner la propriété de détoner rapidement, l'oxydation du carbone étant alors presque complète. Le but que semble se proposer le capitaine Schultze, en suivant ce mode de fabrication, est la production d'une substance plus graduellement explosible que celle qu'on obtient en laissant agir l'acide nitrique d'une manière plus complète sur la fibre du bois, et la possibilité de conserver cette poudre sous une forme légèrement explosible, par conséquent, comparativement peu dangereuse, jusqu'au moment de l'emploi, et alors on peut rapidement la rendre plus violente en l'imprégnant avec des nitrates. On affirme que cette poudre est beaucoup plus efficace que la poudre ordinaire dans les opérations de mines, et qu'en l'employant, les mineurs peuvent revenir plus tôt à l'ouvrage, parce que l'explosion produit peu on point de fumée. C'est un avantage considérable que la poudre de Schultze partage avec le coton-poudre. Cette poudre pourra sans doute aussi être employée dans les armes de chasse; mais les particularités de sa structure ne permettent guère d'espérer qu'on puisse jamais s'en servir dans l'armée ou dans la marine.

L'application pratique du coton-poudre a fait d'importants progrès dans ce pays depuis qu'on a remis la fabrication à l'étude il y a environ trois ans. On en a fabriqué des quantités considérables dans l'usine de MM. Printère à Stowmarket et dans les manufactures de poudre du gouvernement à Waltham-Abbey. La commission nommée par le gouvernement pour faire une série d'expériences sur le coton-poudre a poursuivi sans relâche ses études; son emploi devient général dans plusieurs districts importants, et l'on a réussi dans une certaine mesure à fabriquer des cartouches de coton-poudre pour les armes de chasse.

On a adopté en Angleterre, avec de légères modifications, le système de fabrication qu'a perfectionné le baron von Lenk. J'ai étudié avec soin ce procédé, et des essais pratiques sur une grande échelle, ainsi que l'analyse des produits, m'ont démontré que les instructions si simples et si précises de von Lenk sont les seules excellentes pour arriver à convertir le coton en épyroxiline ou coton-poudre.

Quoique les conclusions auxquelles en sont arrivés les nombreux chimistes qui ont étudié la composition du coton poudre, peu après la découverete de Shönbein, aient considérablement varié, la constitution de cette substance semble avoir été définitivement fixée par les recherches de Hadow, publiées en 1854. Selon ce chimiste, le coton-poudre le plus explosible a la composition exprimée par la formule $C^6H^7Az^3O^{11}$, formule indiquée déjà par M. Crum en 1847, et l'on peut le regarder comme de la cellulose, dans laquelle trois atomes d'hydrogène sont remplacés par trois molécules de peroxyde d'azote. Le nom de trinitro-cellulose a donc été donné au coton-poudre; et sa constitution est exprimée par la formule $C^6\left\{\begin{matrix}H^7\\3AzO^2\end{matrix}\right\}O^5$. Les conclusions de Hadow ont été confirmées depuis par d'autres chimistes, plus particulièrement par Redtenbacher, Schroetter et Schneider, qui ont analysé des spécimens de coton-poudre préparés sous la direction de von Lenk. MM. Pelouze et Maury ont publié, en 1864, un rapport sur le coton-poudre autrichien, dans lequel ils indiquent une autre formule du produit de von Lenk : $C^{24}H^{36}O^{48}, 5Az^2O^5$. Les conclusions de ces chimistes sont basées sur des résultats analytiques et en partie aussi sur un accroissement de poids qu'ils ont trouvé dans le coton quand il est soumis au traitement d'acides mélangés. La plus grande augmentation de poids qu'ils aient notée est de 78 pour 100, chiffre qui excéderait quelque peu celui qui correspondrait à la formule qu'ils adoptent.

M. Abel a entrepris des recherches expérimentales sur la composition du coton-poudre; les résultats numériques auxquels il est arrivé par l'analyse et par la synthèse confirment la justesse de la formule assignée par Crum et Hadow au coton poudre le plus explosible, et démontrent d'une manière satisfaisante que les produits obtenus, en se conformant strictement aux observations données par von Lenk, sont invariablement de la trinitro-cellulose dans des conditions de pureté aussi approchée qu'on peut l'espérer d'une opération.

Le coton-poudre très-explosible est parfaitement insoluble dans des mélanges d'éther et d'alcool; mais si l'on varie les les proportions et la force des acides employés pour la confection du coton, on obtient des produits d'un caractère moins explosible, qui sont plus ou moins solubles dans l'éther et l'alcool, et qui forment une substance bien connue, le *collodion*. Par conséquent, si, en fabriquant le coton-poudre, on ne remplit pas strictement les conditions essentielles à la production de la pyroniline insoluble, l'uniformité du produit est altérée.

Les produits ordinaires de la manufacture ne sont pas entièrements exempts de coton-poudre soluble; mais la proportion présente est minime et très-uniforme, se montant ordinairement à 1,5 pour 100. Ils contiennent, en outre, une petite quantité, environ 5 pour 100, d'une substance soluble dans l'alcool absolu et présentant les caractères d'un acide, substance qui est produite évidemment par l'action de l'acide azotique sur une très-petite quantité de résine ou d'autres matières étrangères à la cellulose pure et dont les fibres du coton ne sont jamais complétement débarrassées par la purification à laquelle on les soumet. Il y a lieu de croire que ces impuretés du coton-poudre sont relativement très-instables, et il est probable que la grande propension à une décomposition spontanée qui a été observée dans certains échantillons de coton-poudre par Pelouze et Maury, de Luca et autres chimistes, doit être attribuée à la présence dans ces échantillons d'une proportion relativement considérable de ces substances étrangères fort instables.

M. Abel a trouvé que 100 parties de coton purifié avec soin produisent de 181,8 à 182,5 parties de coton-poudre. L'augmentation qui devrait se produire avec de la *cellulose parfaitement pure* par une conversion absolument complète en une

Digitized by Google

substance représentée par la formule $C^6H^7Az^3O^{11}$ (*trinitrocellulose*) est 83,3. Les résultats ci-dessus indiqués confirment donc la rectitude de la formule adoptée généralement pour la composition du coton-poudre. Avec les procédés actuels de fabrication, tels qu'ils sont indiqués par von Lenk, on obtient un rendement un peu inférieur, à cause des impuretés du coton employé et de l'âpreté de matière qui se produit dans la purification.

On fait en ce moment, à l'arsenal de Woolwich, des expériences très-considérables dans le but de s'assurer quelles décompositions subit le coton-poudre quand on le conserve en magasin ou qu'on l'expose pendant de longues périodes à la lumière et à des degrés de chaleur variant entre la température ordinaire et celle de l'eau bouillante. Les résultats obtenus jusqu'à présent, bien qu'indiquant que dans quelques conditions rigoureuses le coton-poudre peut se décomposer, n'ont pas confirmé les conclusions des chimistes français quant à la grande instabilité de cette substance. Ainsi de Luca affirme que tous les échantillons qu'il avait exposés au soleil se décomposaient dès le premier jour. On n'a pas encore vu à Woolwich d'exemple d'une décomposition aussi rapide dans le coton-poudre fabriqué d'après le nouveau procédé. Il se produit un léger développement de gaz quand le coton-poudre a été exposé quelque temps au soleil; mais la quantité recueillie sur des spécimens, exposés depuis deux ans et demi au soleil et à la lumière à Woolwich, a été fort minime, et le coton-poudre a, dans tous les cas, conservé son aspect primitif. Pelouze et Maury affirment que le coton-poudre se décompose toujours complétement en quelques jours quand il est exposé à une température de 55 à 60 degrés centigr., et ils s'appuient surtout sur l'explosion d'un échantillon dès qu'il fut introduit dans un vase chauffé à 47 degrés centigr. Mais à Woolwich, un échantillon du produit ordinaire qui est resté exposé pendant douze mois à une température de 65 degrés centigr. n'a émis qu'une petite quantité de gaz. Enfin plusieurs échantillons ont été exposés à une température de 90 degrés centigrades pendant plusieurs heures, et ils émettaient continuellement des vapeurs nitreuses; ils furent ensuite exposés à la lumière, en vases clos, pendant vingt mois environ, et, au bout de ce temps, ils possédaient encore leur apparence primitive et leurs propriétés explosibles. Plusieurs grandes caisses de munitions remplies de coton-poudre et fermées ont été conservées intactes pendant six mois dans une salle dont la température fut maintenue à 49 degrés centigrades pendant les trois premiers mois, et ensuite de 54 à 55 degrés centigrades; on avait pris des mesures pour enregistrer périodiquement la température à l'intérieur des caisses, qui restèrent fermées, et dans aucun cas cette température n'indiqua la production de changements chimiques sérieux; elle resta toujours au-dessous de la température de l'air de la salle. Nous donnons ces quelques exemples de résultats obtenus pour prouver que le coton-poudre, fabriqué en Angleterre d'après le procédé de von Lenk, ne justifie pas ce que les chimistes français ont avancé.

Un point fort important pour la conservation du coton-poudre semble avoir été négligé par les expérimentateurs français. On peut le conserver parfaitement, et, ce semble, pour quelque période de temps que ce soit, en le plongeant dans l'eau ou plus simplement encore en l'imprégnant d'une humidité suffisante pour qu'il ne soit pas inflammable. Le coton-poudre, dans cet état, est bien moins dangereux que la poudre à canon, quelle que soit la quantité de substances étrangères dont on mélange cette dernière. On peut le transporter avec autant de sûreté que le coton ordinaire, et il se pourrit bien moins facilement que les substances végétales. On a conservé pendant plusieurs mois des échantillons de coton-poudre dans des endroits très-humides, où l'on avait placé en même temps du papier, du bois, etc.; le coton-poudre avait conservé sa force et ses propriétés et ne portait aucune trace d'altération, tandis que le papier en contact immédiatement avec lui était pourri et que le bois était couvert de végétations.

On a réussi, jusqu'à un certain point, à modifier l'action explosible du coton-poudre. On peut varier considérablement la rapidité avec laquelle le coton-poudre brûle à l'air libre en nattant ou en pressant fortement les fibres. Mais à l'intérieur du fusil, qu'il soit employé lâche, ou tissé très-serré, la force et la rapidité d'explosion sont les mêmes, parce que la pression du gaz fait pénétrer la flamme dans les tissus les plus compactes. Il y a cependant deux moyens de réduire la rapidité d'explosion du coton-poudre qui offrent bien plus de chances de succès. L'un consiste à le mêler à d'autres substances non explosibles, telles que du coton ordinaire, par exemple. Ce moyen a été appliqué avec beaucoup de succès, par MM. Prentice, à la fabrication de cartouches pour la chasse. Le second moyen consiste à le comprimer en masses compactes homogènes et à confiner la première ignition sur certaines surfaces. On peut comprimer très-facilement le coton-poudre dans les cartouches; mais on obtient des masses bien plus homogènes et bien plus solides par une méthode que j'ai étudiée dernièrement et qui consiste à réduire le coton-poudre, en une pâte au moyen de la pression, comme on fait pour le papier, et, à façonner des cylindres avec cette pâte.

Cette méthode a déjà donné des résultats excellents, et l'on peut espérer qu'on parviendra, non-seulement à fabriquer ainsi des cartouches pour les fusils, problème facile à résoudre, mais qu'on arrivera aussi à se servir du coton-poudre dans l'artillerie.

Le coton-poudre produit de brillants effets pyrotechniques, quoique l'absence de fumée, qui partout ailleurs, et surtout dans les travaux de mines, serait un immense avantage, soit peut-être là un inconvénient. D'un autre côté, elle permet de s'en servir dans les appartements.

Il ne paraît plus y avoir de raison de douter que le coton-poudre remplacera la poudre à canon avec grand avantage, tout au moins pour quelques travaux, et que cet agent intéressant est destiné à occuper une grande place dans les fabriques de produits chimiques.

F. A. ABEL.
Chimiste du ministère de la guerre d'Angleterre.

Traduit de l'anglais par E. BARBIER.

Digitized by Google

CONFÉRENCES SCIENTIFIQUES DE TURIN.

M. C. MATTEUCCI.
(Sénateur et ancien ministre du royaume d'Italie).

Application de la théorie dynamique de la chaleur à l'astronomie et à la physique terrestre. — Chaleur animale et travail musculaire. — Conclusions : Principe de la conservation de la force (1).

Messieurs,

La découverte d'une loi ou d'un principe fondamental dans les sciences physiques jette nécessairement une nouvelle lumière sur toutes les parties de ces sciences et amène la découverte d'une foule de faits nouveaux et imprévus. Jamais, dans la philosophie naturelle, cette vérité n'a été mieux démontrée que par les applications de la théorie dynamique de la chaleur.

Nous avons commencé par vous montrer comment le pouvoir moteur, dont est animé un corps grave dans sa chute, peut se transformer en un mouvement vibratoire des particules de la matière et de l'éther ou en force vive : dans les machines à vapeur, dans les machines à air chaud, et dans les électro-moteurs, nous avons vu le phénomène inverse, nous avons vu la chaleur et la force vive se transformer en travail mécanique. Et dans l'une et l'autre de ces transformations, nous sommes arrivé à déterminer ce nombre qu'on appelle avec raison l'*équivalent mécanique de la chaleur*, parce qu'il exprime numériquement les effets équivalents d'une certaine quantité de travail et de chaleur.

En étudiant les phénomènes qui accompagnent les combinaisons chimiques, nous avons été conduit à considérer la chaleur et la lumière, effets constants de l'affinité chimique, comme une conséquence des mouvements dont sont animées les particules des corps, mouvements qui représentent le travail de l'affinité chimique consumé pendant la combinaison. Dans le cas de la pile, l'affinité chimique nous offre l'exemple du développement simultané de chaleur et de puissance mécanique, et nous avons vu comment, de ce phénomène naturel si complexe, résulte toujours la démonstration de la corrélation qui existe entre ces grandes forces de la nature et de leurs transformations mutuelles en quantités équivalentes et réductibles en un nombre déterminé d'unités de travail ou de kilogrammètres.

Pour compléter le cadre de mon sujet, qui embrasse la plus grande révolution qui se soit accomplie dans les sciences physiques depuis la découverte de Newton, il me reste à vous exposer rapidement les applications de la théorie dynamique de la chaleur à l'astronomie et à la physiologie. Ce sera le sujet de cette leçon qui terminera ce cours.

En comparant la force chimique à la gravité, la chaleur développée par un corps grave qui tombe sur la terre et perd dans sa chute toute sa vitesse, à la chaleur que développent les atomes d'oxygène et d'hydrogène lorsqu'ils se précipitent les uns contre les autres pour se combiner et former de l'eau, on dirait que l'affinité chimique est une source de force vive ou de chaleur beaucoup plus grande que la gravité. Mais en faisant cette comparaison, nous avons considéré les effets de l'attraction de la terre sur les corps placés à une petite distance de sa surface. Il n'en est plus ainsi lorsque nous considérons les effets calorifiques dus à la chute des corps graves placés à une grande distance de la terre et, en général, à une grande distance d'un quelconque des centres d'attraction de l'univers. Ces idées ont donné naissance à l'explication la plus fondée que nous puissions donner aujourd'hui de la chaleur solaire. Aucune combinaison chimique, aucune combustion ne peut rendre compte de l'énorme quantité de chaleur et de lumière que rayonne constamment le soleil. En effet, si nous supposons que le soleil est un corps primitivement échauffé perdant constamment de la chaleur, nous pouvons conclure de la quantité de rayons émis, quantité que nous pouvons calculer en partant de la quantité de ces rayons qui tombent sur la terre, que cette énergie devrait s'éteindre rapidement. Rappelons-nous que la chaleur émanée par le soleil en une minute pourrait faire bouillir 12 000 millions de milles (1) cubes d'eau pris à la température de 0°. Thomson, par un calcul plus ou moins approximatif, a trouvé que, pour expliquer la radiation calorifique du soleil en raison d'une émission d'énergie équivalente à 7000 chevaux par pied carré, résultat trouvé par l'expérience, il faudrait supposer une combustion semblable à celle d'une couche d'environ 800 kilomètres de charbon fossile par heure. En supposant que le soleil soit un globe de charbon, sa masse, brûlant dans le rapport que je viens d'indiquer, aurait dû s'éteindre entièrement au bout de 4600 années. Il est donc impossible d'expliquer l'énergie du soleil en le supposant porté primitivement à une très-haute température, ou bien en le regardant comme un corps en combustion; il faut, au contraire, recourir à l'hypothèse que Buffon a émise avant la découverte de la théorie mécanique de la chaleur, lorsqu'il supposait que le soleil était en quelque sorte alimenté, comme un fourneau, par des comètes qui tombent sur lui. Nous voyons toutes les nuits, et surtout dans certaines nuits, dans les nuits d'août, par exemple, des centaines d'astéroïdes qui traversent les espaces célestes; beaucoup d'entre eux se précipitent sur la terre en devenant lumineux et incandescents, par suite du frottement qu'ils éprouvent en traversant avec une vitesse énorme les couches de notre atmosphère. En 1618, le Palais de justice de Paris fut incendié par un astéroïde. Si nous considérons combien l'attraction que le soleil doit exercer sur la matière nébuleuse répandue dans l'espace est grande par rapport à l'attraction exercée par la terre, et, par suite, de quelle énorme vitesse doit être animée la matière qui tombe sur lui; si nous réfléchissons à la grande densité que doit avoir l'atmosphère qui l'environne et que doivent traverser les corps qui tombent sur sa surface, il ne nous sera plus difficile d'imaginer comment le soleil peut acquérir, par la chute des corps qu'il attire sur lui, une quantité de chaleur suffisante pour maintenir son rayonnement ordinaire. En effet, les astronomes calculent que la masse du soleil est au moins 350 000 fois plus grande que celle de la terre; un corps tombant sur la surface du soleil parcourrait en une seconde environ 136 mètres au lieu de $4^m,09$ qu'il parcourt en tombant sur la terre, et un homme de grandeur moyenne aurait sur la surface du soleil un poids d'environ deux tonnes. On a donc supposé, et c'est certainement l'hypothèse la mieux fondée, que la chaleur que le soleil émet en rayonnant continuellement dans l'espace ne

(1) Voyez les nos 12 et 50, p. 193 et 809.

(1) Le mille anglais vaut 1609 mètres.

Digitized by Google

pouvait lui être restituée que si sa masse augmentait constamment par la chute de comètes, d'étoiles filantes, et de toute la matière cosmique qui remplit l'espace, mais plus particulièrement de cette immense nébulosité circumsolaire que les astronomes appellent lumière zodiacale. Thomson, partant de cette hypothèse, en a déduit que, pour compenser le rayonnement solaire qu'on peut déduire des expériences de M. Pouillet, il suffit de supposer qu'il tombe annuellement sur le soleil une quantité de matière nébuleuse capable de former sur sa surface une couche de la densité moyenne du soleil et de 20 mètres d'épaisseur. En supposant que la matière cosmique qui échauffe le soleil en tombant sur sa surface, provienne non-seulement de la zone de la lumière zodiacale, mais de toutes les régions de l'espace, il suffirait d'une quantité de matière moindre puisqu'elle serait animée d'une vitesse plus grande. Dans un cas comme dans l'autre, il en résulterait toujours, dans une période d'un nombre considérable d'années, une augmentation presque insensible du diamètre solaire, augmentation qui serait encore inappréciable pendant un grand nombre d'années par les méthodes d'observation les plus délicates. Ainsi Thomson a trouvé qu'il ne faudrait pas moins de quarante siècles pour que l'angle visuel, sous lequel nous voyons le soleil de la terre, fût augmenté d'un dixième de seconde.

Cette hypothèse sur la chaleur solaire a encore une autre conséquence qui permet de la contrôler. Le soleil tourne autour de son axe et accomplit sa révolution dans vingt-cinq jours environ. Naturellement si la masse du soleil s'accroît, si, comme on doit le supposer, cette masse s'ajoute à la surface, c'est-à-dire aux points où la vitesse absolue est la plus grande, la rotation doit devenir plus lente; Thomson a calculé que cette augmentation de matière devrait accroître la durée de la révolution du soleil d'une heure dans un demi-siècle. Remarquons cependant que nous sommes forcés de déduire le mouvement de rotation du soleil de la position des taches solaires qui ont un mouvement propre, distinct du mouvement général du soleil; il nous est impossible de reconnaître, à l'aide des instruments que nous possédons aujourd'hui, une variation d'une heure dans la rotation du soleil.

Je terminerai en vous disant qu'en tenant compte de la diminution de volume que subit le soleil en se refroidissant, et par suite de la chaleur développée nécessairement par cette condensation, nous pouvons admettre que la quantité de matière cosmique dont la chute serait nécessaire pour suffire au rayonnement solaire est encore plus petite que ne le suppose l'hypothèse de Thomson.

En vous exposant cette hypothèse sur la conservation de l'énergie solaire, j'ai eu pour but principal de vous soumettre une des nombreuses et ingénieuses applications de la théorie dynamique de la chaleur, et non pas de vous offrir une explication démontrée par l'expérience ou par l'observation. Il est certain qu'il existe de la matière nébuleuse dans les espaces planétaires; nous savons que des aérolithes tombent continuellement sur la terre, surtout à de certaines époques de l'année; dans la composition de ces aérolithes entrent des matières qui font partie de l'atmosphère ou de la masse du soleil; il n'est donc pas impossible, nous pouvons presque dire qu'il n'est pas improbable qu'il tombe continuellement de cette matière sur le soleil. Cela suffit pleinement pour justifier Thomson d'avoir imaginé cette hypothèse et moi de vous l'avoir fait connaître.

Nous arrivons à des conséquences plus fondées et plus satisfaisantes en cherchant à expliquer, à l'aide des principes de la théorie mécanique de la chaleur, les effets de l'irradiation solaire sur la terre.

Une grande partie de ces rayons produit sur la terre l'effet que produit le charbon en brûlant sous la chaudière d'une machine à vapeur; ces rayons échauffent certains points du sol plus que certains autres, les régions placées près de l'équateur plus que celles qui sont voisines du pôle. Ainsi se produisent les courants maritimes et les vents qui soufflent si régulièrement des pôles à l'équateur dans le voisinage du sol et de l'équateur vers les pôles dans les parties élevées de l'atmosphère. Sans empiéter sur le domaine de la météorologie, nous pourrons dire que les vents plus ou moins forts qui soufflent régulièrement ou irrégulièrement sur la surface de la terre n'ont d'autre cause que l'échauffement inégal et par suite les inégalités de densités correspondantes des différentes couches d'air. Ces courants peuvent être exprimés par un nombre déterminé d'unités de travail mécanique. Quand ils poussent les voiles d'un bâtiment ou les ailes d'un moulin, ils produisent un travail utile qui n'est qu'une fraction extrêmement petite du travail ainsi engendré par le soleil qui est ou qui du moins nous semble perdu.

Une autre partie du rayonnement solaire transforme l'eau des fleuves et de la mer et convertit l'eau des couches supérieures de la terre en vapeur d'eau qui s'élève de 5 à 6 ou à 10 kilomètres dans l'atmosphère pour se condenser en nuages et se convertir en pluie et en neige. Il y a dans cette transformation de la chaleur solaire un exemple éloquent de la même transformation qui s'opère dans une machine à vapeur. La force motrice dont sont animées les eaux des fleuves et des torrents, cette énorme quantité de travail due à la gravité n'est qu'une restitution de la force vive du soleil employée à convertir en vapeur et à soulever dans l'atmosphère l'eau de la terre.

Mais nous n'avons pas encore épuisé tous les phénomènes naturels dans lesquels intervient l'énergie du rayonnement solaire, et celui dont il me reste à vous parler est de la plus haute importance, parce qu'il est essentiellement relié à toutes les fonctions de l'organisme vivant.

Le combustible que nous plaçons sous la chaudière de la machine à vapeur, soit à l'état de charbon fossile pris dans le sein de la terre, soit à l'état de bois sur des arbres qui vivent encore de nos jours, est formé en grande partie de carbone et d'hydrogène, que les plantes mettent en liberté par la réduction de l'acide carbonique et de l'eau, donnant ainsi naissance à des composés nouveaux plus complexes et réunis par une affinité plus faible. Toutes les matières que les végétaux fournissent comme aliments aux animaux, l'amidon, le sucre, la gomme, les corps gras, les matières azotées neutres, telles que le gluten, la caséine, l'albumine, en un mot tous nos aliments et ceux des animaux sont fabriqués, d'une manière plus ou moins directe, dans le sein des végétaux; et nous savons maintenant que tous ces composés, formés de trois ou quatre éléments, l'oxygène, l'hydrogène, le carbone et l'azote, proviennent de l'acide carbonique, de l'eau et de l'ammoniaque que les plantes trouvent principalement dans l'atmosphère, et qui se décomposent dans les feuilles sous l'action des rayons solaires, suivant des lois que nous ignorons et d'une manière tout à fait inconnue.

Vous avez vu, dans la dernière leçon, la combustion du

Digitized by Google

carbone dans l'oxygène produire un volume d'acide carbonique égal à celui de l'oxygène au milieu duquel il brûle. La grande quantité de lumière et de chaleur que vous avez vu se développer dans cette combustion et que vous avez appris à mesurer, et qui s'exprime par un nombre de kilogrammètres équivalent, est un travail de l'affinité, de cette énergie potentielle, comme on l'appelle, qui se transforme en force vive et se consume pendant que la combinaison s'effectue. Il faut donc bien remarquer que dans la réduction de l'acide carbonique, sous l'action de la lumière solaire, il doit nécessairement s'éteindre une quantité de force vive égale à celle qui se restitue pendant la combustion du charbon brûlant pour former de nouveau de l'acide carbonique. Cet effet est principalement produit par les rayons que nous appelons pour cela rayons chimiques, et qui, dans la lumière solaire comme dans la lumière de l'arc voltaïque, sont réunis aux rayons calorifiques et lumineux. Si donc dans les photographies nous voyons manquer la reproduction des plantes et surtout des feuilles, cela tient à ce que les surfaces colorées en vert absorbent les rayons chimiques et privent ainsi la lumière solaire des rayons qui sont nécessaires à la production des images photographiques. On peut aussi prouver expérimentalement que les rayons solaires, qui transforment si facilement un mélange de chlore et d'hydrogène en acide chlorhydrique, perdent la propriété d'agir sur ce mélange si l'on met sur leur passage ou des feuilles vertes ou d'autres composés chimiques décomposables par la lumière; le travail chimique de ces rayons a donc été consumé comme se consume le travail d'un poids tombé sur le sol d'une certaine hauteur. Quand nous songeons aux aliments que nous fournissent les plantes sous l'influence des actions chimiques que leur fait subir la lumière solaire, quand nous nous rappelons tous les effets mécaniques que produit sur la terre la chaleur solaire, nous pouvons, sans faire une figure de rhétorique, mais par une conséquence scientifique rigoureuse, dire, comme les poëtes l'ont souvent dit, que nous nous sommes *les fils du soleil*, nous et tout l'organisme vivant.

Mais c'est surtout dans l'explication des principaux phénomènes de la vie que la théorie dynamique de la chaleur a jeté la plus vive lumière.

Ouvrez un livre de physiologie d'il y a dix ou quinze ans, et si vous avez la bonne fortune de ne pas tomber sur un de ces traités dans lesquels dominent l'imagination et de mauvaises méthodes bien plus que la science, vous y trouverez une description minutieuse des fonctions dites vitales; vous y apprendrez comment se fait la mastication, quels sont les muscles qui agissent pendant la respiration, quels sont les changements que subit la matière alimentaire dans les diverses parties du tube intestinal, comment le sang se modifie dans les organes de la sécrétion. Mais une définition rigoureuse, simple, concise de la machine animale telle qu'on la donne aujourd'hui, vous n'en trouverez et vous n'en pourrez pas trouver dans ces livres, parce que cette définition résulte justement de la plus belle des applications de la théorie dynamique de la chaleur : je veux parler de son application à la physiologie. La machine animale, j'espère réussir facilement à vous le démontrer, est une machine comme la machine à vapeur ou le moteur électro-magnétique, c'est-à-dire un système dans lequel les affinités chimiques, et surtout la combinaison de l'oxygène de l'air avec les matières alimentaires, développent constamment de la chaleur, de l'électricité et du travail musculaire.

Il ne m'appartient pas, surtout dans ce cours, de m'étendre longuement sur les fonctions de la vie, et j'espère que vous irez entendre quelquefois l'illustre physiologiste hollandais que nous avons eu la bonne fortune d'attirer au milieu de nous; je vous dirai seulement les choses indispensables au développement de la proposition que j'ai annoncée.

Il y a dans tous les animaux un liquide qui circule plus ou moins rapidement dans les diverses parties du corps et imbibe tous les tissus. Ce liquide, dont la composition se modifie peu à peu dans son passage à travers l'organisme, est constamment ramené à ses conditions normales, nécessaires au maintien de la vie, par les substances alimentaires rendues solubles par les phénomènes de fermentation qui se passent dans l'estomac et les intestins. Nous savons aujourd'hui par la chimie que les aliments ont la même composition chimique dans tous les animaux. En effet, dans le lait, dans la viande, dans le pain dont nous nous nourrissons, existent les mêmes matières azotées et grasses qui entrent dans les fourrages et dans les graines dont se nourrissent les animaux herbivores. La digestion et l'absorption sont seulement plus difficiles et plus lentes chez les herbivores, parce que dans leurs aliments les véritables substances nutritives sont moins abondantes, et c'est pour cela qu'il leur faut une plus grande surface absorbante de canaux intestinaux pour extraire les parties nutritives de la masse alimentaire. La cause de ces modifications dans la composition chimique des tissus et du sang, c'est l'oxygène qui entre et se dissout dans le sang veineux à travers le tissu pulmonaire et se fixe ainsi sur les globules, qui reprennent au contact de ce gaz la couleur rouge propre au sang artériel.

L'oxygène, transporté au moyen des globules dans tout l'organisme, brûle le carbone, l'hydrogène, l'azote des matières alimentaires qui se sont dissoutes et transformées en matériaux du sang et forme ainsi de l'acide carbonique, de l'eau et de l'urée. C'est à l'acide carbonique qui se trouve dissous en excès dans le sang et qui a servi à la nutrition des tissus qu'est due la couleur rouge foncée qui caractérise le sang veineux. Lorsque ce sang se trouve au contact de l'oxygène de l'air, ainsi que cela se fait dans les poumons ou dans les branchies des poissons, l'acide carbonique qui s'y trouve dissous se dégage et à sa place se dissout l'oxygène de l'air et le sang reprend sa couleur rouge. C'est à peu près la même chose qui arrive en dehors de l'organisme, lorsqu'un liquide qui contient un gaz en dissolution se trouve en présence d'un autre gaz; une portion du premier quitte le liquide pour céder sa place au nouveau gaz. En se chargeant d'acide carbonique, le sang devient d'un rouge foncé presque noir; il redevient, au contraire, rouge, lorsqu'il abandonne l'acide carbonique pour absorber de l'oxygène. Voici deux flacons : l'un plein d'acide carbonique, l'autre d'oxygène; dans chacun d'eux je verse un peu de sang et puis j'agite : vous voyez le sang mis dans l'oxygène prendre une couleur rouge vive, tandis que le sang mêlé à l'acide carbonique prend une teinte foncée. Mais en versant alternativement ces deux liquides d'un flacon dans l'autre, nous verrons le sang rouge devenir noir et *vice versâ*.

Lavoisier, qui fut le génie de la chimie et le créateur de la véritable théorie de la respiration et de la chaleur animale, théorie que je viens de vous exposer brièvement, se trompait

Digitized by Google

seulement en croyant que la combustion du carbone, de l'hydrogène, de l'azote du sang, se fait dans l'intérieur des poumons. Il est prouvé aujourd'hui que cette combustion se fait dans tous les points de l'organisme, et que dans les poumons s'opère principalement la dissolution de l'oxygène dans le sang veineux et le dégagement de l'acide carbonique. En effet, les grenouilles et tous les animaux qui peuvent continuer à vivre pendant un certain temps dans un gaz autre que l'oxygène, dans l'hydrogène par exemple, exhalent tout de même de l'acide carbonique, ce qui signifie que ce gaz était dissous dans leur sang.

Je puis facilement vous prouver par une expérience le dégagement de l'acide carbonique pendant l'acte de la respiration. Il me suffit de souffler à l'aide d'un tube de verre l'air qui sort des poumons dans de l'eau de chaux. Vous voyez, après quelques expirations, l'eau de chaux devenir laiteuse par suite de la formation du carbonate de chaux insoluble provenant de l'acide carbonique qui se trouve en quantités notables dans l'air expiré.

Je vais vous faire voir cette expérience, en me servant d'un appareil meilleur qui permet de mesurer ces effets. Il consiste en un ballon dans lequel j'ai placé un oiseau ; le tube du ballon est fermé par un bouchon traversé par deux tubes minces de verre, dont l'un est réuni à un certain appareil que les chimistes appellent, du nom de son inventeur, un *tube de Liebig*. Ce tube est rempli en partie d'une solution de potasse ou d'eau de chaux, de sorte que l'air atmosphérique est obligé, pour pénétrer dans le ballon, de traverser très-lentement le liquide du tube de Liebig. En passant à travers la potasse ou l'eau de chaux, l'air se débarrasse complétement de la petite quantité d'acide carbonique qu'il contient à l'état normal. Le second tube de verre est relié à un autre tube de Liebig qui contient également de l'eau de chaux, et qui, à son tour, communique par l'intermédiaire d'un autre tube de caoutchouc ordinaire avec un vase plein d'eau, qui porte le nom d'aspirateur, parce que quand on ouvre le robinet qui se trouve à la partie inférieure du vase, l'eau s'écoule en suçant, pour ainsi dire, une quantité d'air égale à la quantité d'eau sortie. En opérant ainsi, nous voyons entrer dans le ballon, dans lequel se trouve l'oiseau, de l'air atmosphérique privé d'acide carbonique ; ensuite nous voyons ce même air sortir du ballon chargé d'acide carbonique, puisque l'eau de chaux du second tube de Liebig devient laiteuse. Pour rendre complète cette expérience, il suffirait d'analyser l'air, de mesurer l'oxygène absorbé et de peser le second tube de Liebig pour avoir le poids de l'acide carbonique exhalé. Il résulte d'un grand nombre d'expériences faites sur ce sujet que chaque animal absorbe une certaine quantité d'oxygène et expire de l'acide carbonique qui contient une quantité d'oxygène généralement plus petite que la quantité absorbée ; une partie de l'oxygène absorbé se combine donc à l'hydrogène du sang ou des tissus. Les animaux herbivores et les carnivores, quand ils se nourrissent de végétaux, convertissent presque entièrement l'oxygène absorbé en acide carbonique ; au contraire, dans les animaux carnivores, la quantité d'oxygène de l'acide carbonique est la plus petite possible par rapport à l'oxygène absorbé. L'azote est généralement plus abondant dans l'air expiré que dans l'air inspiré, ce qui nous fait dire que dans les actions chimiques de la nutrition, une portion de l'azote des matériaux du sang ou des tissus est rendue libre.

Une fois que l'existence de la combustion qui se fait dans tous les points du corps d'un animal est bien prouvée, il n'y a plus aucune difficulté à concevoir comment il se développe constamment de la chaleur, et comment le corps possède une température propre et indépendante de celle de l'air dans lequel il se trouve. Supposez que ce ballon, dans lequel nous avons placé un oiseau, ait été plongé dans l'eau d'un calorimètre : en faisant durer l'expérience un certain temps, nous aurions pu recueillir tous les éléments de ce que l'on appelle la statique chimique des corps vivants. On conçoit facilement, et l'expérience a été faite bien des fois, qu'on puisse placer un animal dans des conditions qui lui permettent de vivre pendant plusieurs jours dans cet appareil ; on peut lui donner une quantité pesée d'aliments, mesurer l'oxygène qu'il consume et l'acide carbonique qu'il émet, ainsi que l'eau et les excréments. Le poids de l'animal restant constant pendant quelques jours, comme cela arrive lorsque l'expérience est faite dans de bonnes conditions et sur des animaux adultes, on peut déterminer quelle est la chaleur qui serait développée si les quantités d'acide carbonique et d'eau, qui sont les produits de la combustion de l'animal, étaient les résultats d'une combustion de carbone et d'hydrogène libres s'effectuant dans un calorimètre, et quelle est, en réalité, la chaleur que l'animal a développée pendant la durée de l'expérience, et qui a été cédée à l'eau qui environne le récipient dans lequel il se trouve. Ces expériences, dont on ne peut attendre une confirmation rigoureuse de l'explication de la chaleur animale, ont cependant conduit à la conclusion que la chaleur animale est approximativement la même que celle qui correspond à la combustion respiratoire. J'ai dit presque, car, dans le plus grand nombre de cas, la chaleur développée par l'animal a été trouvée un peu plus grande que la chaleur correspondant à la combustion ; et il devait en être ainsi, parce que l'animal en restant pendant plusieurs heures sans mouvement cède une petite quantité de sa chaleur à l'eau du calorimètre et se refroidit. J'ai dit ensuite que les résultats ne peuvent être qu'approximatifs, parce que nous ne connaissons pas encore avec certitude la chaleur développée dans les diverses combustions, parce que le carbone et l'hydrogène qui brûlent dans un animal ne sont pas à l'état libre, et nous ne savons pas si la combustion de ces corps combinés dans l'organisme développe la même quantité de chaleur que quand ils sont libres ; parce que, dans les phénomènes physiques et chimiques de la digestion, par le mouvement du sang, par l'imbibition des tissus, il doit se développer des quantités de chaleur autres que celles qui se dégagent pendant la combinaison respiratoire.

Il faut de plus remarquer qu'outre les formations d'eau et d'acide carbonique il se produit, par suite de l'oxydation des matières azotées, telles que l'albumine, la caséine, la fibrine, des composés tels que l'urine, l'acide urique, l'acide choléique, la créatine, etc., qui résultent bien d'une véritable oxydation, mais dont nous ne connaissons cependant pas le véritable pouvoir calorifique de combustion.

Les chimistes et les physiologistes, comparant le carbone qui entre dans les matières azotées des aliments, telles que la fibrine, la caséine, l'albumine, etc., au carbone de l'acide carbonique expiré, ont facilement reconnu que le premier est en quantité beaucoup plus petite, surtout si l'on tient aussi compte du carbone qui entre dans la composition de l'urée : ils en ont conclu, avec raison, qu'il faut nécessairement d'autres

Digitized by Google

aliments chargés de carbone et d'hydrogène pour suppléer à la *calorification :* ce sont les corps gras, et principalement la fécule et le sucre, qui par la digestion se convertissent en acide lactique et en acides gras volatils, qui s'oxydent facilement, et se convertissent en acide carbonique quand ils sont mélangés au sang naturellement alcalin. La même chose arrive aux citrates et aux tartrates de potasse qui se trouvent dans les végétaux, et particulièrement dans les fruits : ces sels s'oxydent presque immédiatement après qu'ils ont été ingérés, et se convertissent en carbonates alcalins qui se retrouvent dans l'urine.

Pour mieux vous démontrer la relation intime qui existe entre la combustion respiratoire et la chaleur animale, il me suffirait d'ajouter qu'on trouve constamment que, pour une certaine température propre d'un animal, au-dessus de la température dans laquelle il vit, la quantité d'oxygène qui est consumée en un temps donné est proportionnelle à son poids, et jusqu'à un certain point en raison inverse du volume de son corps. Aussi les animaux petits, qui ont la température propre la plus élevée, comme les oiseaux, comparés aux mammifères ou aux oiseaux plus gros, ont besoin pour se maintenir à cette température ou pour résister au refroidissement, de brûler beaucoup plus d'oxygène que les seconds. On sait qu'une tourterelle expire pour chaque kilogramme de son poids et par heure environ 4 grammes d'acide carbonique, tandis qu'un petit oiseau dans les mêmes conditions en expire au moins trois fois plus.

Il y a aussi dans l'intensité de la combustion d'un animal des différences qui dépendent de l'âge, du sexe, de la constitution et du poids du corps. Un homme à la fleur de l'âge brûle 14 grammes de charbon par heure, tandis qu'un vieillard en brûle à peine 8, et la même chose arrive pour un enfant. L'activité musculaire, l'exercice du corps, comme vous le verrez dans un moment, interviennent nécessairement dans l'intensité de la combustion respiratoire.

Il n'y a donc pas à douter que l'animal ne soit une machine dans laquelle entre constamment de l'oxygène qui brûle le sang et les tissus, et qui développe de la chaleur. Le grand cercle de la vie végétale et animale réside donc dans la faculté qu'ont les végétaux de réduire, sous l'action solaire, l'acide carbonique, l'eau, l'ammoniaque : c'est ainsi que se forment les matières alimentaires dans lesquelles le carbone, l'hydrogène et l'azote représentent par leur affinité l'énergie solaire qui a été consumée pendant leur réduction, et qui est la même qu'elles restituent ensuite en brûlant au sein de l'animal. Si nous ne fournissions pas continuellement de nouveaux aliments à notre corps, il arriverait rapidement ce qui arrive dans une pile ou dans une chaudière à vapeur, lorsque nous ne renouvelons point le zinc ou lorsque nous cessons de fournir du carbone au foyer. Un animal qui se laisse mourir par inanition meurt parce qu'il cesse de développer de la chaleur, et parce que, dans un animal refroidi au dessous d'un certain point, toutes les fonctions de l'organisme s'arrêtent. Dans cet animal, nous trouvons que toute la graisse a disparu, ainsi que la chair, tandis que les nerfs sont presque intacts; comme dans une pile qui reste longtemps fermée le zinc a disparu, tandis que l'arc métallique est resté intact.

Mais la machine animale n'est pas seulement faite pour développer de la chaleur, elle est en même temps une machine motrice dans laquelle une grande partie de la chaleur est convertie en mouvement, et donne une quantité de travail utile plus grande que les machines ordinaires. Il suffit pour cela de rappeler le travail que fait le cœur. En tenant compte de la quantité de sang qui est mise en mouvement et de la pression supportée, on calcule que le travail mécanique du cœur équivaut au travail nécessaire pour élever son propre poids, dans une heure, à 6000 mètres de hauteur; nous savons maintenant que la locomotive la plus forte ne produit à peine qu'un huitième du travail du cœur. Cette dernière vérité peut être comprise sans raisonnements trop élevés par ceux qui considèrent que la ration d'aliments des classes ouvrières et des campagnards, non-seulement n'est pas plus abondante, mais est généralement plus petite que celle des classes qui ne font que peu ou point de travail musculaire. Certainement, il est vrai, que dans cette classe on use généralement un excès d'aliments; il est cependant bien vrai que la bonne santé accompagne toujours une nourriture modérée. Une nourriture trop abondante empêche la combustion d'être complète, ce qui donne lieu à des dépôts d'acide urique, d'urates, de matières grasses, etc., qui altèrent la santé, de même qu'un four ne fonctionne plus bien parce que le noir de fumée bouche la cheminée, ou parce que des résidus imparfaitement brûlés obstruent la grille du foyer.

Le travail maximum que l'homme peut produire, et qui s'obtient lorsqu'il élève son propre corps dans une roue, s'évalue à 150 000 kilogrammètres par jour, nombre qui représente la combustion d'environ 40 à 50 grammes de carbone. Et comme l'homme brûle plus de 300 grammes de carbone par jour, il en résulte que la septième ou la huitième partie du carbone qui brûle serait à peine nécessaire pour représenter le travail musculaire maximum qu'un homme peut produire.

Je me souviens d'avoir demandé, il y a quelques années, au célèbre R. Stephenson, avec lequel je me trouvais en voyage, combien il faudrait mettre de charbon dans le foyer d'une locomotive pour transporter un homme à la distance de quarante milles. La quantité de charbon nécessaire pour effectuer ce travail serait au moins trente-quatre fois plus grande que la quantité de charbon qui se trouve dans les aliments absorbés par un homme pendant le temps nécessaire pour accomplir ce voyage par ses forces musculaires.

Dans toutes les expériences dans lesquelles on a étudié la quantité de la respiration dans les animaux, soit à l'état de repos, soit pendant l'exercice, on a toujours trouvé que dans ce second cas la respiration croît d'une manière notable, au point de devenir trois à quatre fois plus grande que dans le cas de repos. Ce n'est pas seulement la quantité d'acide carbonique qui croît, mais il paraît que l'eau et l'urée deviennent aussi plus abondantes pendant l'exercice. Ainsi la combustion croît donc notablement dans l'animal qui travaille, et en même temps nous voyons aussi la température de son corps s'élever : les muscles s'altèrent, la quantité d'acide qu'ils contiennent augmente, l'oxygène du sang disparaît presque complétement, et il n'y reste plus que de l'acide carbonique.

J'ai fait, il y a quelques années, une longue série d'expériences sur cette question, et elles ont révélé en partie l'obscur mécanisme de la respiration musculaire. Permettez-moi de vous en donner un aperçu.

Je prends sur une grenouille vivante un muscle gastrocnémien, c'est-à-dire le muscle principal de la jambe, et je lui laisse son nerf; je fixe la partie supérieure de ce gastrocné-

Digitized by Google

mien à un crochet, et la partie inférieure porte un autre crochet plus petit auquel on peut suspendre un poids de 1 ou 2 grammes. Vous savez déjà que quand un courant électrique traverse le nerf d'un muscle, il se contracte au premier moment : aussi nous verrons notre gastrocnémien se gonfler et se raccourcir, et soulever en attendant le poids inférieur. Il est facile d'agrandir ce mouvement à l'aide d'un levier, ou bien d'observer ce petit poids à l'aide d'une lunette, et de savoir ainsi la quantité dont s'élève le poids lui-même. En un mot, il n'y a pas de difficulté à déterminer, en kilogrammètres, le travail accompli par le muscle qui se contracte sous l'excitation du courant électrique. D'un autre côté, nous savons qu'il suffit d'un courant électrique extrêmement petit pour produire la contraction d'un muscle. Pour rendre la quantité d'électricité qui, dans cette expérience, irrite le nerf, la plus petite possible, j'introduis dans le circuit électrique un interrupteur, dont les extrémités consistent en deux ressorts métalliques. Supposons que nous ayons une grande roue de bois, et qu'une plaque de cuivre mince soit fixée en un point quelconque de sa périphérie. Pendant que la roue tourne avec une grande rapidité, nous approchons au contact de la périphérie les deux ressorts de l'interrupteur, et nous verrons naître la contraction au moment où les deux ressorts touchent la plaque de cuivre. Connaissant la longueur de la périphérie de la roue, la largeur de la plaque de cuivre et le temps que met la roue à faire un tour, on peut déduire avec certitude la durée du passage de l'électricité qui a servi à exciter la contraction. Dans mes expériences, ce passage durait un dix-millième de seconde, temps pendant lequel sept billionièmes de milligramme de zinc se dissolvaient dans la pile.

Nous avons donc dans cette expérience les données nécessaires pour connaître la quantité de zinc qui s'oxyde dans la pile, et par suite la chaleur, qui devrait être équivalente au travail de la contraction du muscle, et nous connaissons de même ce travail au moyen de l'expérience ; nous pouvons donc, en comparant ces deux quantités de travail, décider si elles sont conformes aux conséquences de la théorie mécanique de la chaleur. La conséquence que j'ai tirée de mes expériences fut, au contraire, que le *travail fait par le muscle sous l'irritation électrique était au moins vingt-sept mille fois plus grand que le travail chimique ou calorifique produit dans la pile dans le même temps.*

Donc, pour que ce résultat ne mette pas en défaut la théorie dynamique de la chaleur, il faut admettre que l'irritation électrique du nerf excite par son action une respiration ou une combustion dans le muscle, et que c'est entre cette combustion et le travail du muscle que doit résulter la vérification de la théorie dynamique de la chaleur. Et c'est en effet ce résultat que l'expérience a victorieusement confirmé. Voici deux bocaux égaux de verre : dans l'un d'eux, j'enferme cinq grenouilles dépouillées et préparées, mais simplement suspendues ; dans l'autre, cinq grenouilles semblables sont aussi suspendues, mais à l'aide de deux crochets métalliques, au moyen desquels je fais passer le courant interrompu dans les grenouilles pour les forcer à se contracter. Après cinq ou six minutes, je sors les grenouilles des flacons et je verse dans chacun d'eux un volume égal d'eau de chaux, et j'agite vivement. Vous voyez aussitôt une grande différence dans l'aspect de l'eau de chaux des deux bocaux ; l'eau de chaux du flacon dans lequel les grenouilles sont restées en repos devient à peine blanchâtre, tandis que l'eau du flacon dans lequel les contractions ont eu lieu est fortement troublée. La contraction a donc développé une combustion plus grande dans les fibres musculaires ; c'est donc la fibre musculaire elle-même qui s'oxyde pendant la contraction, et si l'on a soin de mesurer l'excès de combustion qui a lieu dans le muscle en activité sur celui du muscle en repos, on trouve que cet excès rend compte approximativement de la quantité du travail du muscle, selon le principe de l'équivalent mécanique de la chaleur.

Nous sommes ainsi conduits à considérer l'excitation des nerfs comme un fait qui précède la contraction musculaire, et comparable à l'effet d'une petite étincelle de feu qui agit sur une grande masse de poudre ou de fulminate de mercure, pour réveiller et consumer les affinités chimiques qui se trouvaient dans une espèce d'équilibre instable dans ces corps. C'est de ces actions chimiques que résulte le grand développement de chaleur dont une partie se transforme en travail : c'est peut-être l'électricité qui, comme nous le savons, se développe continuellement dans les muscles, qui est le phénomène intermédiaire de ces transformations, absolument comme dans les moteurs électro-magnétiques.

J'avais donc bien raison de vous dire que dans les fonctions d'un animal, dans le mécanisme qui le rend capable de développer de la chaleur et du travail, on trouve la vérification des mêmes lois qui gouvernent les machines à vapeur et les moteurs électro-magnétiques ; de ce fait, il faut donc conclure que les lois physiques et chimiques ont sur l'organisme vivant le même empire que sur les corps inorganiques.

Arrivé au terme de l'exposition que je me suis proposé de vous faire de la théorie dynamique de la chaleur et de ses applications à l'affinité, à la pile et à certains grands phénomènes naturels qui s'accomplissent dans l'univers ou dans l'organisme vivant, permettez-moi de résumer, sous la forme de quelques propositions, les conséquences générales, la philosophie, pour ainsi dire, de cette grande découverte.

Avant tout, je vous ferai remarquer que dans certaines applications de la théorie dynamique de la chaleur, que je n'ai pas voulu vous laisser ignorer parce que le principe en est évident et invariable et peut être appelé une vérité mécanique, les données expérimentales ne sont pas toujours invariablement fixées. Ainsi, on ne saisit pas clairement comment la chaleur diminue dans les électro-aimants, lorsqu'ils tournent et font un certain travail, plus que quand ils tournent sans accomplir de travail ; on ne voit pas encore clairement comment l'induction électro-dynamique produit ces effets. La même chose peut se dire de la détente et de la condensation de la vapeur dans le cylindre de la machine à vapeur, phénomènes par lesquels une plus ou moins grande partie de la chaleur du foyer se transforme en travail. Nous ne concevons pas bien en quoi consiste le mouvement des particules ou la force vive que nous appelons chaleur : si c'était un mouvement vibratoire comme celui de la lumière ou de la chaleur rayonnante, on ne pourrait pas expliquer le travail qui se consume pendant la dilatation et les changements d'état, et si ce n'est pas un mouvement vibratoire, il nous reste à connaître la nature de ce mouvement ; et, comme tous les corps ont une certaine température, il n'est pas facile de concilier cet état dynamique avec les phénomènes de la cohésion et de la cristallisation. Le nombre par lequel nous représentons l'équivalent mécanique de la chaleur, et qui théoriquement devrait être

Digitized by Google

constant, varie avec les différentes méthodes d'expérimentation qu'on a employées pour le déterminer, et nous ne savons pas si les différences, quelquefois assez notables, doivent être attribuées à des erreurs d'expériences, aux défauts des appareils, ou si elles proviennent des différents états de la matière, de la nature diverse des corps sur lesquels on opère.

Je n'ai pas voulu vous laisser ignorer ces doutes, vous taire certaines réserves que nous sommes encore obligés de faire, et cela justement parce que le grand principe sur lequel se fonde la théorie dynamique de la chaleur doit rester fixe, et parce que, je me plais à vous le répéter, il est une conséquence rigoureuse de l'expérience et en même temps un axiome de mécanique. J'espère qu'il me sera permis maintenant de terminer ce cours par quelques propositions générales, qui, si elles ne dérivent pas immédiatement et rigoureusement de ce principe, seront dans un avenir plus ou moins rapproché, l'expression des progrès théoriques de ce principe et, par suite, des généralisations permises et conformes aux règles de la philosophie expérimentale. Voici ces propositions :

1° Il y a dans l'univers une quantité déterminée et indestructible de matière dont les parties s'attirent réciproquement, selon la loi de l'attraction universelle.

Il y a aussi dans la nature certaines masses déterminées et très-petites de cette matière ; elles sont indivisibles, et c'est entre elles que s'exerce l'affinité chimique : ce sont les *atomes*.

2° L'attraction universelle et l'affinité chimique sont les deux faits élémentaires, les faits *ultimes* auxquels l'analyse scientifique s'arrête : ce sont les *forces* dont la matière a été douée à l'origine.

3° Ces deux forces peuvent communiquer les effets de leur énergie aux masses ou bien se diffuser dans les éléments matériels, et les deux mouvements qui prennent ainsi naissance peuvent se transformer l'un dans l'autre en quantités équivalentes et réductibles en un nombre déterminé d'unités de travail mécanique ou de chaleur.

4° L'électricité, le magnétisme, la chaleur, la lumière, ne sont que des mouvements divers des molécules pondérables et de l'éther, qui peuvent se transformer l'un dans l'autre sans que pour cela il y ait jamais altération de la somme des effets mécaniques auxquels ils sont équivalents et par lesquels on peut les mesurer.

5° L'attraction universelle et l'affinité chimique prises, l'une dans l'unité de masse, l'autre dans l'atome chimique, sont capables de produire une certaine quantité de travail mécanique qui leur sert de mesure, sans pour cela rien perdre de leur intensité primitive : l'énergie mécanique de ces forces reste épuisée quand le travail est terminé. Ainsi, un corps grave tombé d'une certaine hauteur a sensiblement le même poids au commencement et à la fin de la chute ; mais une fois qu'il est tombé, il est devenu incapable de produire la quantité du travail qu'il a pu produire par sa chute, et il ne peut regagner cette énergie sans être de nouveau élevé à la hauteur d'où il est tombé. Ainsi, un pendule élevé à l'aide de la main représente une certaine quantité d'énergie ; quand il est abandonné à lui-même, cette énergie se transforme en vitesse, qui restitue l'énergie perdue en élevant le poids à la hauteur d'où il est tombé. Un atome d'oxygène et deux atomes d'hydrogène, c'est-à-dire des masses de ces deux gaz qui sont entre elles en poids, comme 1 est à 8, épuisent, en se combinant, le travail chimique qu'ils peuvent produire par leur affinité ; quand on défait la combinaison en rendant de nouveau libres les deux éléments, leurs affinités redeviennent ce qu'elles étaient à l'origine. Mais le corps grave qui tombe sur la terre et y perd sa vitesse, les atomes d'oxygène et d'hydrogène qui se combinent, développent ainsi des quantités déterminées de chaleur qui sont capables de reproduire à leur tour une quantité de travail mécanique égale à celle qui a été épuisée dans ces transformations.

Sous une forme ou sous une autre, les intensités des forces sont constantes et indestructibles, de même que la somme du travail dynamique et des forces vives qu'elles sont capables de produire est elle-même constante et indestructible. Tous les phénomènes naturels ou artificiels dans lesquels ces forces sont en jeu ne sont que des transformations et des changements de place de la matière et de ses forces ; mais leur intensité et la quantité d'énergie restent constantes dans tout le système.

Il serait impossible de méconnaître l'importance de ces généralisations. Je ne voudrais cependant pas qu'elles aient pour votre esprit une valeur plus grande qu'elles n'en ont véritablement ; regardez-les comme des efforts de cet esprit philosophique qui est la partie la plus sublime de notre intelligence, pour monter, de certains faits fondamentaux et des analogies qu'ils présentent entre eux, à ces principes suprêmes qu'il ne nous est donné que d'entrevoir jusqu'ici.

Mon but principal a été de vous montrer, en quelques leçons, la série d'expériences qui peuvent se faire dans un cours et qui démontrent les relations qui existent entre les grandes forces de la nature et la loi mécanique de leur transformation réciproque. Je sais bien que cette matière aurait exigé, pour être développée convenablement, un temps plus long que celui qui est réservé à ce cours ; je sais beaucoup aussi qu'il n'est pas possible dans un tel sujet d'user de toute la rigueur voulue, quand il faut supposer son auditoire dépourvu de connaissances mathématiques ; mais je ne voulais qu'éveiller votre curiosité sur la plus grande découverte de la philosophie naturelle moderne, et puisque, par votre assiduité à ces leçons, vous m'avez prouvé que je n'ai pas manqué mon but, je n'ai plus qu'à vous remercier de l'attention que vous n'avez cessé de me porter.

Ces enseignements libres et privés que nous voyons s'élever avec tant d'ardeur chez nous et chez nos voisins sont le signe le plus manifeste du besoin que ressentent de nos jours les classes moyennes de se perfectionner et d'acquérir l'instruction sans laquelle les libertés qui sont confiées à leur activité et à leur intelligence pourraient devenir inefficaces ou dangereuses pour la société. Le succès obtenu par la tentative faite par le comité des lectures scientifiques et littéraires de Turin est une nouvelle preuve du goût choisi et de la culture intellectuelle de cette population.

C. MATTEUCCI.

Traduit de l'italien par FELTZ.

Digitized by Google

MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE.

ZOOLOGIE

(Annélides, Mollusques, Zoophytes).

COURS DE M. LACAZE-DUTHIERS (1).

XII

Les Ophiurides : Organisation et distribution méthodique.

Il nous reste à étudier deux sous-ordres de l'ordre des Stellérides, les Ophiurides et les Crinoïdes, avant de passer à l'étude de l'ordre des Holothurides. Cette leçon aura pour objet l'organisation et la distribution méthodique des Ophiurides; nous réserverons pour la leçon prochaine les Crinoïdes et les Holothurides.

Mais avant d'entrer dans les détails que cette étude comporte, il est utile, pour ne pas perdre de vue la liaison qui doit nous aider à rattacher tous ces groupes entre eux, de rappeler par un court résumé de nos premières leçons à quel point nous en sommes arrivé.

Le type Oursin se présente à nous, dans l'exemple que nous avons pris pour caractériser le groupe, comme étant parfaitement symétrique autour d'un centre. Toutes les pièces qui composent le test sont soudées et immobiles; ce test est couvert de piquants mobiles qui sont mis en mouvement par des muscles et jouent sur de véritables articulations. Tous les organes contenus dans cette enveloppe sont disposés d'après un ordre constant : ils sont à cinq divisions, ou leur disposition accuse ce nombre, et leurs rapports sont tels qu'une partie, un point quelconque de la symétrie de l'Oursin régulier étant donné, on retrouve sans difficulté les autres parties.

Le type Astérie est venu à son tour se modeler faciment sur celui de l'Oursin; prenant dans notre description l'*Asteracanthion rubens*, l'ancienne Astérie rouge des auteurs, comme type des êtres que renferme le sous-ordre, il nous a été possible d'en faire un Oursin en redressant ses bras et en supposant la partie dorsale de son disque remontant au pôle opposé à la bouche. Ainsi nous avons pu remonter de l'Astérie vers l'Oursin, et les suppositions que nous avons dû faire pour établir ce passage ont été plus tard démontrées par un grand nombre de particularités anatomiques que je vous ai signalées.

Voyons maintenant quelles modifications successives peuvent établir un passage naturel de l'Oursin à l'Astérie. Relier ainsi l'Astérie à un premier type bien connu, c'est apprenprendre par comparaison à bien la connaître. Nous pourrons alors nous en servir comme d'un terme intermédiaire qui reliera à son tour l'Ophiure à l'Oursin.

L'Oursin peut s'aplatir, et s'aplatir plus peut-être que certaines Astéries. Il suffit de comparer un Oursin du genre *Scutella* et une Étoile de mer du genre *Asteriscus*, par exemple, pour s'en convaincre. Cette comparaison accuse un premier passage évident d'un type à l'autre.

Les Oursins aplatis peuvent présenter des lobes à leur circonférence, des incisions profondes peuvent partager leur test en sortes de rayons comme cela s'observe dans le genre *Rotula*. Et le déplacement de l'anus dans les Clypéastroïdes n'établit-il pas aussi un passage vers les Astérides qui, dans la plupart des cas, ont l'anus rejeté sur le côté de leur face dorsale.

Nous avons vu, dans les Clypéastres et les Spatangues, les zones ambulacraires avorter vers le milieu de leur longueur et former, sur le dos de l'Oursin, les *pétales ambulacraires*, à la face ventrale, des sillons, et prendre quelquefois un développement considérable autour de la bouche. Supposons l'avortement des ambulacres au sommet d'un Oursin aplati et leur grand développement à la face inférieure : l'Astérie ne se traduira-t-elle pas avec ses ambulacres à la face inférieure?

Dans les *Ananchytes* nous avons vu les pores génitaux et ocellaires tendre à se déplacer. Admettez, en exagérant ce déplacement constaté dans les Oursins eux-mêmes, que les pores génitaux descendent du pôle dorsal et viennent se placer à l'extrémité des angles que forment dans l'Étoile de mer les échancrures correspondant aux aires interambulacraires; que de leur côté les pores ocellaires suivent la peau dans son mouvement considérable d'extension, et passent ainsi du centre dorsal à l'extrémité des bras : il y aura sans doute alors aspect différent; mais rien ne sera troublé dans la symétrie et le mode d'agencement de ces parties de l'Échinoderme. Les yeux, les filets nerveux qui y aboutissent et les autres organes seront encore dans les mêmes rapports, aussi ne peut-il y avoir de difficulté, pour celui qui connaît l'organisation de l'Oursin, à s'orienter par comparaison dans l'organisation de l'Étoile de mer.

Nous avons vu quels étaient les caractères qui différenciaient spécialement les Échinides des Astérides. L'Étoile de mer présente dix glandes génitales; autour de l'estomac apparaissent dix organes glandulaires, qui jouent, sans aucun doute, un rôle dans l'acte de la digestion; on ne trouve pas ici cette régularité presque mathématique dans la forme et la disposition des pièces du test; les piquants mobiles articulés avec des pièces basilaires font également défaut. Mais malgré ces différences, des analogies nombreuses dans la disposition générale des parties établissent un passage bien naturel d'un groupe à l'autre.

Voyons maintenant les différences qui séparent les Astérides ainsi reliés aux oursins des Ophiurides; voyons en même temps les analogies qui les rapprochent.

Qu'est-ce qu'une Ophiure? — C'est pour répondre à cette question que nous allons étudier successivement les différentes parties de son organisation.

Si l'on observe une Ophiure vivante, elle se distingue bien vite des Astéries par une physionomie différente. Un petit disque central, d'où partent cinq bras allongés et s'amincissant en queue de serpent (ὄφις, serpent, οὐρά, queue), telle est l'apparence générale propre aux Ophiures.

Ce n'est pas seulement par leur forme, mais encore par leurs mouvements, que les bras des Ophiures peuvent être justement comparés à des queues de serpent. L'Ophiure, en effet, vit ordinairement sous les pierres ou les galets qui couvrent la plage, et semble chercher ainsi à éviter la lumière. Si l'on soulève une de ces pierres, on voit l'Ophiure se mouvoir avec une rapidité relativement considérable, si on la compare au déplacement si lent de l'Astérie. Les bras s'accrochent aux aspérités du sol et se dirigent très-librement dans un sens voulu. Il semble qu'il y ait dans cet acte de l'animal, qui cherche toujours à fuir la lumière, un désir, une intention, presque un jugement; ici un instinct se révèle et

(1) Voyez les nos 16, 18, 19, 22, 23, 28, 29, 31 47 et 50.

Digitized by Google

se traduit par l'accomplissement relativement rapide d'un mouvement volontaire.

L'Ophiure, pour progresser, tantôt dirige ses cinq bras dans le même sens, s'accroche au sol par leurs extrémités et tire ensuite le corps vers ce point fixe; tantôt, prenant toujours un point fixe par les extrémités de ses bras, agit en sens contraire et pousse son corps en avant; d'autres fois, un bras se glisse sous une pierre, se fixe et attire à lui le corps et les quatre autres bras. Les mouvements de l'Ophiure sont donc variés, elle peut à volonté changer ses façons de progresser.

Rien n'est fragile comme une Ophiure, aussi faut-il les plus grandes précautions pour s'en emparer. Le moindre contact, la moindre traction fait rompre les parties que la main a saisies.

L'Astérie présente à la face inférieure de ses bras des séries d'ambulacres, c'est-à-dire d'organes servant à sa progression. L'Ophiure n'en présente pas.

M. Forbes nomme les Ophiurides des *Échinodermes spinigrades*, c'est-à-dire qui marchent au moyen d'épines. Cette expression est juste. Les bras de l'Ophiure sont pourvus de parties dures qui leur permettent de s'accrocher et de prendre un point fixe au sol. Ils sont, dit M. Forbes, « furnished with spines on the sides and membraneous tentacula » (*Starfishes*, p. 19).

Ces véritables crochets permettent aux bras dont nous allons étudier la structure de se fixer; et l'animal, qui peut fléchir en tous sens ses longs bras, s'en sert en quelque sorte pour jeter l'ancre dans toutes les directions et sur tous les points.

Nous ne rencontrons plus ici, d'une façon aussi évidente que dans les Astéries, la plaque madréporique qui nous a servi à poser l'Étoile de mer. Il y a tant de plaques dans l'enveloppe cutanée des Ophiures que la plaque madréporique est ou serait fort difficile à reconnaître. Von Siebold la place, dans l'Astrophyton, à la face inférieure, dans l'angle de réunion de deux bras vers la bouche.

Organes de relation. — Ces organes sont très-intéressants à étudier, car ils fournissent de nombreux caractères pour la spécification.

Le squelette se compose de pièces internes et d'écailles extérieures. Les pièces internes solidement articulées entre elles, sont cependant assez mobiles pour que, leurs mouvements se transmettant de la base au sommet des bras, ces organes puissent jouir d'une grande flexibilité. Elles sont volumineuses et occupent à elles seules toute l'épaisseur des bras, qui sont dépourvus de cavités, contrairement à ce que nous avons vu exister dans les Astéries.

Les écailles extérieures sont extrêmement variables quant à leur forme, à leur couleur, à leur grandeur et à leur disposition. Il en résulte que l'ornementation de l'Ophiure varie beaucoup, et que la spécification tire un parti considérable de ces dispositions. Ces écailles, placées très-près des pièces centrales, ne laissent point de canal entre elles et celles-ci. Les bras des Ophiures sont donc parfaitement pleins : c'est là une différence très-grande, qui sépare nettement les Astérides des Ophiurides.

Les ambulacres, organes propres de la locomotion, si développés dans les Échinides et les Astérides, manquent à peu près chez les Ophiurides. Ils n'ont plus en tout cas la même forme et la même disposition.

A la base des épines qui prolongent les écailles externes ou les pièces solides cutanées, on trouve des tentacules mous, mamelonnés; d'après Erdl et von Siebold les mamelons qui couvrent ces prolongements membraneux seraient de véribles ventouses destinées à fixer l'animal, les analogues, par conséquent, des ambulacres que nous connaissons déjà.

Mais si l'analogie existe pour la fonction, elle est nulle pour la structure. Ces prolongements mamelonnés ne présentent pas, en effet, d'une façon bien nette, de ventouse terminale, et le squelette calcaire que nous avons vu exister dans les ambulacres des Oursins y fait toujours défaut.

Comme les ambulacres, les pédicellaires manquent chez les Ophiures. On ne trouve, en effet, à la surface de leur corps que des crochets, des épines, mais point d'organes préhenseurs articulés.

Le système nerveux consisterait en un collier œsophagien, central, placé toujours dans le voisinage de la bouche. Malgré les descriptions que quelques auteurs ont données de cet organe nerveux central, il règne encore bien des doutes sur sa disposition et même sur son existence. Les nerfs qui en partent suivraient un canal laissé entre les pièces centrales des bras et les écailles tapissant la face inférieure des rayons de l'Ophiure.

Des organes de sensibilité spéciale sont peut-être placés aux extrémités des bras, puisque des cordons nerveux, ici, comme dans l'Astérie, partent du collier œsophagien pour se rendre à ses extrémités; mais il faut bien le dire, les difficultés de l'observation déjà très-grandes chez les Astéries augmentent encore ici ; l'œil des Ophiures, s'il existe, n'a pas encore été observé positivement. Quoi qu'il en soit, les Ophiures sont très-sensibles à la lumière. Ceci ressort de la simple observation d'une Ophiure vivante. Si l'on déplace une pierre sous laquelle se cachait l'animal, on le voit fuir et chercher l'obscurité sous une roche voisine. Dans les ports et les bassins où, comme à Cette, les Ophiures vivent en grand nombre, on les voit se fixer par un bras aux murs des quais qui regardent le nord, et former parfois de véritables tapis dans cette partie du bassin toujours la moins éclairée.

Organes de la digestion. — L'appareil digestif des Ophiures est fort simple dans sa composition.

La bouche est toujours pentagonale. Elle est formée par cinq fentes convergeant vers un centre où elle se réunissent, et se prolongeant en angle en dehors suivant l'axe des bras. L'apparence générale de l'orifice buccal est donc celle d'une étoile; les cinq lobes du corps qui alternent avec les bras semblent s'avancer entre les fentes buccales et faire saillie dans la bouche, en formant souvent cinq cônes solides qui peuvent servir dans l'acte de la mastication et remplacer les mâchoires des Échinides et des Clypéastres. Ces cônes rentrant présentent des caractères d'une grande importance pour la spécification. La bouche se compose donc de dix angles, cinq rentrants, cinq saillants. Elle peut être comparée à une étoile dont les bords seraient déterminés par la convergence vers un centre des parties dures péribuccales.

L'estomac est large. Il forme sur les côtés des enfoncements séparés par des replis lamellaires qui avancent dans la cavité.

Les Ophiures sont des animaux cœlentérés, c'est-à-dire sans anus. Comme chez les polypes, la cavité digestive ne communique avec l'extérieur que par un seul orifice.

A ce point de vue, la différence ne serait pas grande entre les Astéries et les Ophiures, car nous savons que certaines Étoiles de mer sont également dépourvues d'anus ; mais ce qui différencie nettement ces deux groupes, c'est l'absence d'appendices latéraux glandulaires dans les Ophiures.

Digitized by Google

Organes de la circulation. — La fragilité des Ophiures, la forme des articulations, la présence de nombreuses plaques qu'on ne peut soulever sans produire des altérations, tout cela peut et doit vous faire supposer que les connaissances des anatomistes, en ce qui concerne l'appareil de la circulation si difficile à distinguer dans tous ces animaux, sont bien insuffisantes. On ne sait à peu près rien sur le système vasculaire des Ophiures. Les descriptions qui en ont été données sont basées certainement sur des observations, mais sans aucun doute il serait utile de revenir sur ces observations pour fixer la science sur ce point.

Organes de la respiration. — C'est une loi de zoologie générale que les organes de la circulation persistent plus longtemps que ceux de la respiration. Là où l'on ne trouve plus d'appareil respiratoire distinct, là où la fonction de l'hématose se fait par la peau et toutes les parties en contact avec l'eau ambiante, on trouve encore des centres de circulation.

On conçoit donc que les organes de la respiration soient bien difficiles à discerner dans les Ophiures, puisque l'appareil de la circulation est à peine connu. Voici pourtant quelles sont les parties de l'animal auxquelles on attribue un rôle dans cette fonction.

Ce sont d'abord les appendices membraneux qui se rencontrent autour de la bouche et le long des bras. Ces appendices flottants, susceptibles de se gonfler et de se tuméfier, doivent concourir à l'accomplissement de cette fonction.

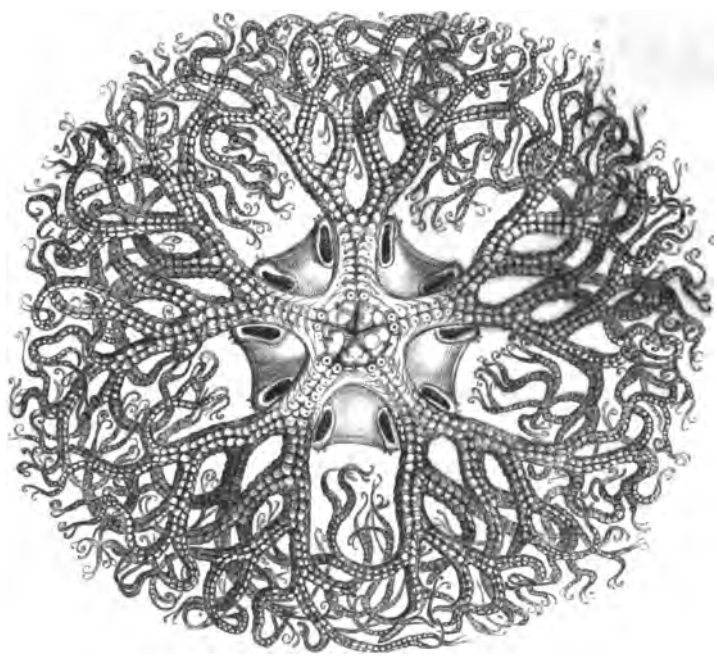


Fig. 327. — Asterophyton verruqueuse, *Asterophyton verrucosum* (d'après *La vie et les mœurs des animaux*, par Louis Figuier).

De plus, on observe à la face inférieure du disque ou corps de l'Ophiure, et jamais à la face supérieure, des fentes, généralement au nombre de deux, comme dans l'*Asterophyton*, pour chaque espace interbrachial. Ces fentes conduisent, d'après certains auteurs, dans la cavité générale du corps, et l'eau qui pénètre par ces orifices porte dans la profondeur même de l'organisme les principes nécessaires à l'hématose.

Mais ici encore il y a indécision et hypothèse, conséquence forcée de l'absence de tout organe spécial de respiration nettement observé. Les fentes interbrachiales fournissent d'importants caractères dans la distribution méthodique des Ophiurides.

Organes de la reproduction. — Les sexes sont séparés et la fécondation abandonnée au hasard.

Les glandes génitales sont constituées sur le plan général de celles des autres groupes quant à leur texture. Leur forme les a fait comparer à des cornes de bélier. Elles sont placées par paires dans les espaces interradiaux du disque et suspendues par un pédoncule dans le voisinage de la bouche. C'est vers la région buccale que se dirige le pédoncule de ces glandes ; mais, comme le dit M. Von Siebold dans son *Manuel d'anatomie comparée*, « il n'est pas encore certain si le sperme » et les œufs sortent par cette voie, ou s'ils tombent dans la » cavité du corps. » Les observateurs ont cru tantôt voir la semence et les embryons sortir par le centre de la bouche ou par ses angles, et tantôt par les fentes du disque.

De tout cela il résulte qu'en ce point encore nos connaissances sont très-incomplètes. Mais ce qui semble bien démontré par l'observation, c'est que les Ophiures sont vivipares.

En résumé, nous trouvons de grandes différences entre ce type Ophiurien et le type Astérien. Mais ces différences ne sont pas telles qu'on ne puisse par l'observation de certaines espèces choisies relier entre elles ces formes du type échinoderme si distinctes au premier abord.

Ce qui ressort encore de l'exposé rapide qui vient de vous être présenté de l'organisation des Ophiurides, c'est que nos connaissances anatomiques sur ce groupe sont très-insuffisantes, et qu'il y a des recherches nombreuses à entreprendre.

Distribution méthodique des Ophiurides. — Le nombre des genres que renferme ce groupe est aujourd'hui considérable : on en compte plus de trente. Comme cela est arrivé pour les Astéries, le nom générique qui fut étendu au sous-ordre tout entier a disparu : le genre *Ophiura* n'existe plus dans la classification de MM. Muller et Troschel, pas plus que le genre *Asterias* dans le groupe des Astérides.

Le caractère d'organisation sur lequel est basé la première division des Ophiurides est la présence de bras ramifiés ou simples. Les Ophiures à bras simples sont désignés sous le nom d'Ophiuriens. Les Ophiures à bras plus ou moins rameux forment un second groupe, celui des Euryaliens.

Les Ophiuriens se divisent eux-mêmes en deux familles.

Une première famille, caractérisée par la présence de quatre fentes génitales dans chaque espace interbrachial du disque renferme les genres *Ophioderma* et *Ophiocnemis*. Le genre *Ophioderma* est caractérisé par une bouche garnie de papilles, un disque granuleux, des bras écailleux. Le genre *Ophiocnemis* présente, au contraire un disque écailleux, et des bras épineux, la bouche est nue.

La deuxième famille ne présente que deux fentes génitales dans chaque espace interbrachial. On la divise elle-même en deux groupes suivant qu'elle est ou n'est pas munie de papilles.

Dans la première division, c'est-à-dire dans le groupe des Ophiuriens dont le disque présente deux fentes génitales dans chaque espace et dont la bouche est papilleuse, se rangent les genres *Ophiolepis*, *Ophiocoma*, *Ophiarachna*, *Ophiocantha*, *Ophiomastix*, qui tous ont le disque et les bras garnis de parties dures, et les genres *Ophiomyxa* et *Ophioscolex* qui ont la bouche et les bras entièrement nus.

Digitized by Google

Dans la seconde division, c'est-à-dire dans le groupe des Ophiuriens dont le disque présente deux fentes génitales dans chaque espace interbrachial, mais dont la bouche n'est pas

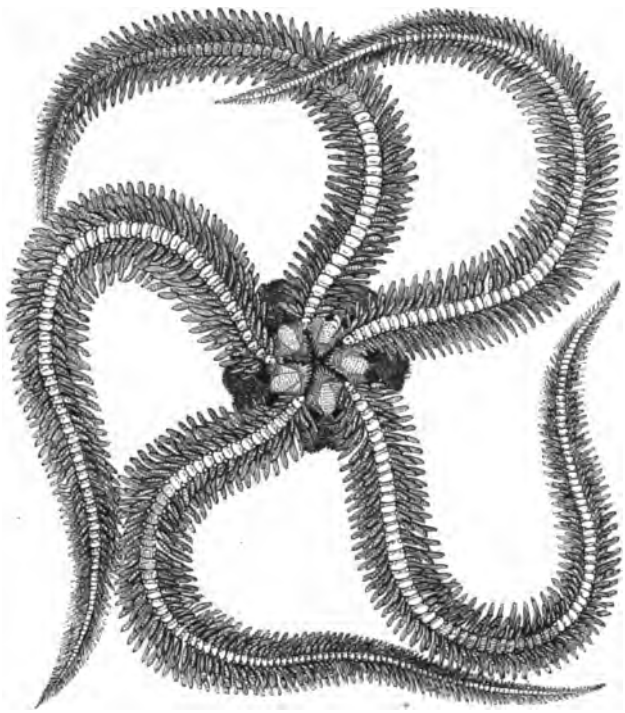


FIG. 328. — Ophiocome de Rüse, *Ophiocoma Rüsei*, grandeur naturelle (d'après *La vie et les mœurs des animaux*, par Louis Figuier).

munie de papilles, se rangent les genres, *Ophiotrix* et *Ophionyx*.

Les EURYALIENS sont caractérisés, avons-nous dit, par les ramifications plus ou moins nombreuses des bras. Dans cette seconde division sont rangés les genres *Asteronyx*, *Trichaster* et *Asterophyton*. — L. Hallez.

BULLETIN DES COURS.

Conservatoire des Arts et Métiers.

GÉOMÉTRIE APPLIQUÉE AUX ARTS (les dimanches à une heure, et les mercredis à huit heures trois quarts du soir). — M. le baron CH. DUPIN (de l'Institut), professeur. M. LAUSSEDAT, suppléant, a ouvert ce cours le dimanche 4 novembre.

Objet des leçons. — Géométrie de la sphère. — Construction et usage du globe céleste et des planétaires. — Instruments d'observation. — Étude des phénomènes célestes. — Mesure du temps. — Tracé des cadrans solaires. — Construction des horloges et des chronomètres — Calendrier. — Grandeur et figure de la terre. — Système métrique.

GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE (les lundis et les jeudis à huit heures trois quarts du soir) — M. DE LA GOURNERIE, professeur, a ouvert ce cours le lundi 5 novembre.

Objet des leçons. — Principes de la géométrie descriptive. — Méthode des projections. — Lignes droites, plans, surfaces courbes employées dans les arts. — Projections cotées. — Détermination des ombres sur les figures géométrales. — Notions sur les surfaces réglées et les surfaces topographiques.

MÉCANIQUE APPLIQUÉE AUX ARTS (les lundis et jeudis à sept heures et demie du soir). — M. TRESCA, professeur, a ouvert ce cours le 5 nov.

Objet des leçons. — Travail mécanique. — Son développement. — Son emploi. — Rôle des machines. — Classification. — Machines motrices. — Machines hydrauliques. — Machines à vapeur. — Machines diverses proposées pour remplacer les machines à vapeur. — Conditions économiques de leur emploi.

CONSTRUCTIONS CIVILES (les mercredis et samedis à sept heures et demie du soir). — M. E. TRÉLAT, professeur, a ouvert ce cours le mercredi 7 novembre.

Objet des leçons. — Emploi des matériaux. — Fondations. — Parois et soutiens verticaux. — Parois et soutiens horizontaux. — Combles. — Couvertures. — Saillies et revêtements sur les parois. — Éléments secondaires employés dans la construction des édifices.

PHYSIQUE APPLIQUÉE AUX ARTS (les dimanches à onze heures et demie, et les mercredis à huit heures trois quarts du soir). — M. E. BECQUEREL, professeur, a ouvert ce cours le dimanche 4 novembre.

Objet des leçons. — Principes fondamentaux de la physique générale. — Applications diverses de la chaleur : formation des vapeurs ; emploi de leur force élastique ; sources de chaleur ; chauffage et ventilation. — Actions moléculaires. — Généralités sur l'acoustique. — Propriétés fondamentales de la lumière. — Sources de lumière. — Construction des instruments d'optique.

CHIMIE APPLIQUÉE AUX ARTS (les dimanches à une heure, et les jeudis à huit heures trois quarts du soir). — M. E. PELIGOT (de l'Institut), professeur, a ouvert ce cours le dimanche 4 novembre.

Objet des leçons. — Première partie du cours. Phénomènes généraux de combinaison et de décomposition. — Équivalents. — Nomenclature et notations. — Histoire détaillée des corps simples non métalliques et de leurs principales combinaisons. — Air atmosphérique. — Eau. — Acides minéraux. — Ammoniaque. — Métaux usuels.

CHIMIE APPLIQUÉE A L'INDUSTRIE (les mardis et vendredis à huit heures trois quarts du soir). — M. PAYEN (de l'Institut), professeur, a ouvert ce cours le mardi 6 novembre.

Objet des leçons. — Cellulose. — Rouissage. — Gélose. — Acide pectique. — Dialose. — Bois. — Conservation. — Bois durcis. — Fécule. — Dextrine. — Conservation des blés et farines. — Gluten granulé. — Pâtes d'Italie. — Pain. — Glucose. — Sucre. — Café. — Cacao. — Alcool. — Vins. — Bières. — Substances alimentaires. — Papiers. — Gélatine. — Huiles. — Suifs. — Savons. — Industrie stéarique. — Éclairage au gaz.

CHIMIE AGRICOLE (les dimanches à dix heures et demie du matin, et les vendredis à huit heures trois quarts du soir). — M. BOUSSINGAULT (de l'Institut), professeur, ouvrira ce cours le vendredi 23 novembre.

Objet des leçons. — Principes généraux de géologie appliqués à l'étude de l'origine, de la constitution et de l'amélioration du sol. — Nitrification. — Emploi des amendements minéraux. — Démonstration des procédés d'analyse.

Les leçons de chimie agricole auront lieu les vendredis à huit heures trois quarts du soir. — Les démonstrations d'analyse auront lieu les dimanches à dix heures et demie du matin.

AGRICULTURE (les mardis et jeudis à sept heures et demie du soir). — M. MOLL, professeur, a ouvert ce cours le mardi 6 novembre.

Objet des leçons. — Le professeur complétera l'étude des Éléments constituants de l'Entreprise agricole en traitant du Capital en Agriculture, de l'Engrais et du Bétail. Il exposera ensuite les principes de l'organisation du Faire-Valoir, des Systèmes de culture, et des Assolements et Rotations.

AVIS.

Les abonnés dont l'époque de renouvellement échoit à la fin de novembre, et qui désirent à cette occasion changer les conditions de leur souscription et profiter des avantages que leur présente, soit l'abonnement d'un an, s'ils ne sont abonnés qu'au semestre, soit la souscription aux deux *Revues des cours scientifiques* et *littéraires*, sont priés d'avertir immédiatement M. Germer Baillière, en lui envoyant un mandat sur la poste ou des timbres-poste.

Les abonnés qui, d'ici à la fin de novembre, n'auront fait parvenir aucun avis au bureau de la *Revue*, seront considérés comme désirant continuer leur abonnement dans les mêmes conditions. En conséquence, ils recevront par l'entremise des porteurs, soit à Paris, soit dans les départements, une quittance analogue à celle qui leur a été déjà remise lors de leur première souscription.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

REVUE
DES
COURS SCIENTIFIQUES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

TROISIÈME ANNÉE — NUMÉRO 52 — 24 NOVEMBRE 1866

MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE.

ZOOLOGIE
(Annélides, Mollusques, Zoophytes).

COURS DE M. LACAZE-DUTHIERS (1).

XIII

Les Crinoïdes.

Il nous reste à étudier le sous-ordre des Crinoïdes, et l'ordre des Holothuries. Entre ces deux groupes d'Échinodermes, on observe les différences les plus grandes. Les Crinoïdes, en effet, placés par de Lamarck parmi les Polypiers, ont un port général qui autorisait en quelque sorte ce rapprochement; et je vous ai dit aussi que de Blainville en faisait un groupe de passage reliant les Échinodermes aux Polypes.

D'une autre part, nous avons vu les Spatangues, par leur symétrie bilatérale, nous conduire vers un type échinoderme allongé et tuberculeux : les Holothuries représentent, dans la forme la plus accentuée, ce type allongé, et suivant les idées de Blainville, ramènent vers le type annelé.

Les Crinoïdes et les Holothuries sont donc placés en quelque sorte, aux deux bouts de la série des Échinodermes pour les relier aux Polypes d'une part, aux Annelés d'autre part.

Ai-je besoin de vous faire remarquer que ce sont des rapprochements de cette nature qui ont séduit certains zoologistes et leur ont fait généraliser un fait d'observation certaine au point d'affirmer la série animale ? Ils ont cédé à cette tendance qui nous porte à réduire trop vite les faits en principes et à conclure *à priori* du particulier au général.

La forme des Holothuries semble certainement indiquer un passage vers les Annelés ; mais, dans les traits principaux de l'organisation, on trouve de profondes différences qui limitent franchement ces groupes ; de telle sorte qu'il peut être permis de mettre, dans une classification, les Holothuries en tête de la série des Échinodermes, immédiatement après les Annélides, mais il faudrait bien se garder de croire que ces deux groupes, rendus ainsi voisins, se confondent par des transitions organiques insensibles.

Le mot *crinoïde* (κρίνον lis; εἶδος apparence) indique un animal qui a l'apparence d'un lis. Leur tige est en effet terminée par des bras comparables aux pétales d'une fleur.

Les Crinoïdes ont vécu bien avant l'époque géologique actuelle ; et, comme ils présentent un squelette calcaire, ils ont laissé de nombreuses empreintes dans les différentes couches du globe. C'est sans doute à ce grand nombre de débris qu'il faut attribuer le nombre considérable des genres et des espèces que l'on a établis. Souvent ces espèces ont été créées d'après des fragments d'animaux et des observations insuffisantes : aussi beaucoup d'entre elles devront sans doute être réformées un jour.

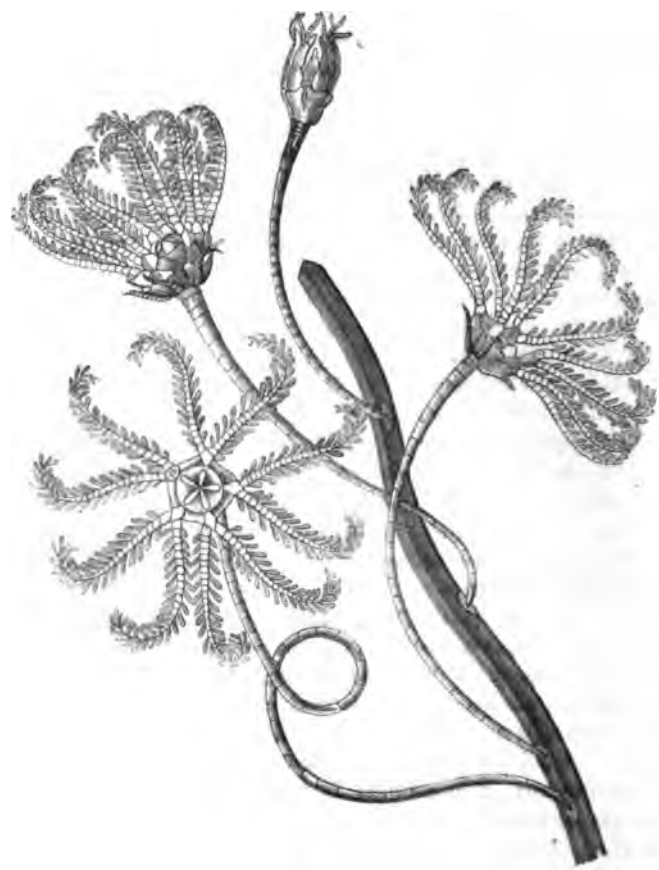


Fig. 329. — *Pentacrinus europæus*, Thompson (d'après *La vie et les mœurs des animaux*, par L. Figuier).

Il est avant tout nécessaire de connaître une division très-naturelle qui partage en deux le sous-ordre tout entier.

Dans un cas l'animal est entièrement fixé et adhérent au sol : c'est le groupe Encriniens ou Crinoïdes proprement dits.

Ou bien l'animal est libre, et, quand il adhère au sol, c'est alors par une sorte de cramponnement volontaire : c'est le groupe des Comatuliens. (Voy. fig. 193, p. 485).

L'organisation des Comatules est mieux connue que celle des Crinoïdes proprement dits : Muller est le zoologiste qui

(1) Voyez les n°s 16, 18, 19, 22, 23, 28, 29, 31, 47, 50 et 51.

a le plus étudié ces animaux. Il a publié ses travaux sur la Comatule dans les mémoires de l'Académie de Berlin.

Les Crinoïdes, contrairement à ce que nous avons vu jusqu'ici, se posent la bouche en haut. Tandis que l'Oursin, l'Astérie et l'Ophiure tournent vers le sol la partie de leur corps où s'ouvre la bouche, les Crinoïdes se renversent de telle sorte que leur face ventrale devient supérieure et leur face dorsale inférieure. Malgré cette interversion, on garde le nom de face ventrale à celle qui porte la bouche, et le nom de face dorsale à celle qui lui est opposée, et qui porte la tige ou les appendices locomoteurs. C'est un point qu'il ne faut pas oublier si l'on veut comprendre les descriptions des auteurs.

Une Comatule est constituée par un disque central au corps, muni de deux ordres de bras. Les uns sont péribuccaux : ce sont les plus grands ; ils sont bordés par de petites barbules latérales nommées *pinnules ;* ce sont les analogues des bras des Ophiures et des Euryales. Les autres sont dorsaux. Beaucoup plus petits, ceux-ci permettent à l'animal de s'accrocher au sol et de se mouvoir. Mais la fonction locomotrice n'est pas exclusivement réservée aux bras dorsaux. Ceux de la face ventrale sont également des appendices locomoteurs. En effet, si l'on observe une Comatule vivante, — et cette observation est facile, car les Comatules se trouvent en grande quantité dans la Méditerranée,— on la voit, tantôt se fixer par ses appendices dorsaux et relever gracieusement ses bras péribuccaux en forme d'une gerbe ou d'une urne, tantôt renverser au dehors ses grands bras et les étaler afin de s'en servir pour la marche. Ils se déplacent ainsi assez rapidement.

Les Comatules comme les Ophiures sont très-fragiles. Leur squelette est formé de pièces calcaires articulées, développées seulement à la face dorsale, où elles forment une sorte de cupule fermée en haut par la membrane molle cutanée, et mues par de petits muscles qui les unissent. Les ambulacres forment deux rangées latérales pour chaque bras. Ils sont petits et présentent des prolongements secondaires sur leurs côtés. D'après Muller, ils sont imperforés, et c'est sans doute cette observation qui a porté ce zoologiste à nier l'existence de l'orifice terminal des ambulacres des Oursins. Les pédicellaires font défaut. Ces organes spéciaux de préhension semblent donc particuliers aux groupes des Échinides et des Astérides.

Le *système nerveux* serait analogue pour sa disposition à celui des Oursins, des Étoiles de mer et des Ophiures. Il consisterait encore en un anneau périœsophagien duquel partiraient des nerfs pour chaque bras. Muller a décrit ces nerfs des bras : ils se renflent en ganglions en face de chaque pinnule, ce qui ferait supposer qu'ils fournissent un rameau à chacun d'eux. L'incertitude la plus absolue règne encore quant aux organes des sens. On a bien signalé des points colorés oculiformes; mais l'anatomie n'a pas encore démontré que ce sont réellement des organes propres à la vision.

Organes de la digestion. — L'anus passe ici à la face ventrale. Il vient se placer à côté de la bouche. C'est donc une transposition analogue à celle que nous ont présentée les Spatangues et les Clypéastres. Dans la cavité générale du corps, se trouve une sorte de pilier de substance spongieuse étendue d'un pôle à l'autre. L'intestin contourne cet axe, qui est peut-être l'analogue du canal du sable des Astéries.

En ce qui concerne les organes de la circulation, de la respiration, et l'appareil aquifère, l'observation est des plus difficiles. Aussi, malgré l'autorité du nom de Muller, peut-on dire que l'on sait fort peu de chose sur ces appareils. On a bien décrit une sorte de cœur longitudinal qui fournit des vaisseaux aux bras et un cercle circulatoire : mais les descriptions manquent de précision, et semblent indiquer plutôt des conjectures qu'une observation rigoureuse.

Les glandes génitales sont placées dans les bras. Tandis que Muller dit que leurs produits s'échappent par la déhiscence des parois des ovaires et des testicules, d'autres auteurs ont cru voir des conduits excréteurs et des orifices. Ici encore il y a doute et incertitude.

L'histoire du développement des Comatules est à faire, en

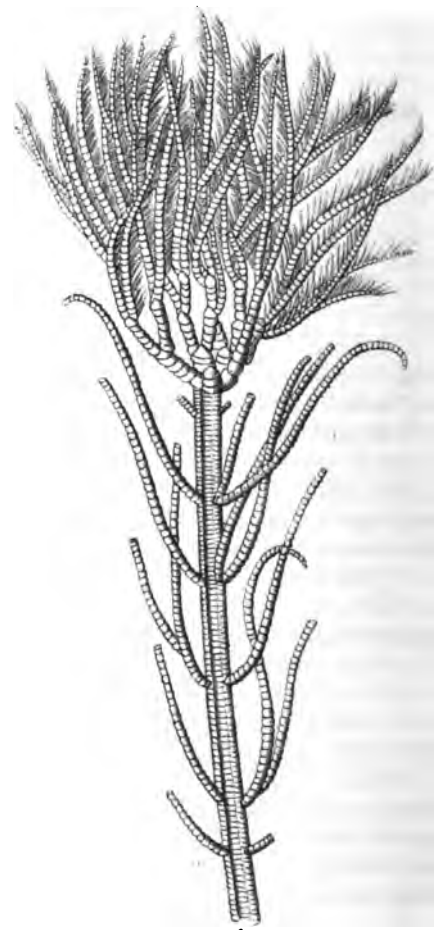


Fig. 330. — *Pentacrinus caput Medusæ*, Miller (d'après *La vie et les mœurs des animaux*, par L. Figuier).

partie du moins. On sait seulement que les jeunes Comatules sont d'abord fixés par un pédoncule grêle tout à fait analogue à celui des Encrines, et que plus tard seulement elles deviennent libres en même temps que se développent les appendices dorsaux.

Distribution méthodique des Crinoïdes. — Les Crinoïdes furent connus d'abord sous le nom de *Trochites* et d'*Entroques ;* plus tard sous celui *d'étoiles en forme de colonne.*

Les caractères sur lesquels est basée la distribution méthodique des Crinoïdes se tirent des pièces qui constituent le squelette. Ce squelette se divise en trois parties, la racine, la tige et le sommet qui comprend le calice, ou la cupule calcaire qui limite la cavité générale et les bras.

La tige est composée de pièces nombreuses, percées d'un

Digitized by Google

canal grêle. Elle commence à la base du calice, là où finit la cavité viscérale. Les pièces du sommet dont la connaissance est nécessaire pour la détermination des genres et des espèces ont reçu des noms particuliers. Les pièces qui forment à la base du calice un premier verticille et qui s'articulent avec les premières pièces de la tige portent le nom de *pièces basales*. Les pièces du second verticille sont appelées *pièces sous-radiales* par Koninck, *pièces parabasales* par Muller. Sur elles s'articulent les pièces qui commencent les bras et qu'on appelle *pièces radiales*. Viennent ensuite les *pièces brachiales* et les *articles brachiaux*. On décrit de plus une *pièce anale* en rapport avec l'anus.

On donne le nom de *voûte* à toute la partie qui ferme le calice à la face ventrale en dedans des bras.

Le sous-ordre des Crinoïdes a été divisé en neuf familles.

Les *Comatulides*, Crinoïdes libres, sans tige à l'âge adulte ;

Les *Pentrémites* ou *Blastoïdes*, dont le calice présente cinq ambulacres pétaloïdes ;

Les *Cystidés*, caractérisés par la présence de trois orifices, deux digestifs, et un génital, sur les flancs ;

Les *Cupressocriniens*, dont les bras aplatis comme ceux des Astéries représentent une sorte de pyramide quand ils sont relevés et réunis ;

Les *Polycrinides*, qui portent dix bras en massues logés dans des sillons du calice ;

Les *Haplocrinides*, dont les bras sont courts et rudimentaires, le calice formé par des pièces peu nombreuses ;

Les *Anthocrinides*, caractérisés par des bras en forme de grandes feuilles.

Les *Cyathocrinides* qui renferment les encrines normales, à grand calice ; dans cette famille se rangent les genres *Cyathocrinus* et *Actinocrinus* ;

Les *Pycnocrinides*, Crinoïdes normaux à calice petit, comprenant les genres *Encrinus*, *Pentacrinus*, *Apocrinus*.

XIV.

Les Holothuries.

Les Holothuries sont communes sur nos côtes ; dans la Méditerranée, quand l'eau est tranquille, on les voit ramper sur le sol ou s'enfoncer dans le sable.

Les Espagnols les appellent des *boudins* ; les anciens les désignaient sous le nom d'*excrementa maris* ; et les gens de mer, qui trouvent facilement dans les animaux de l'élément sur lequel ils vivent les analogues de tout ce qui existe à terre, leur ont donné des noms qui, pour être plus grossiers, disent exactement la même chose que les mots *Priapules*, *Priapes*, imposés à quelques genres par les naturalistes.

Le mot scientifique *Holothurie* rappelle lui-même cette analogie de forme découverte par les gens de mer. Il est fait de deux mots grecs : ὅλος, *tout entier*, θούρια, *priape*. Enfin, M. Agassiz, en appelant, dans son *Nomenclator zoologiæ*, ces animaux *cauda maris*, n'a fait que traduire un peu librement la pensée exprimée par l'étymologie grecque.

Les caractères des Holothuries ne permettent pas de les confondre avec les autres Échinodermes. Leur forme est allongée, plus ou moins cylindrique, souvent presque globuleuse, quand l'animal est contracté.

La peau est coriace, excessivement épaisse, confondue avec des couches musculaires d'une grande puissance. Elle est très-irritable ; à tel point que, lorsqu'on saisit une Holothurie on la sent se roidir et prendre presque la dureté du bois.

La bouche et l'anus sont opposés et placés aux deux extrémités du cylindre qui représente le corps. La bouche est invariablement entourée par un cercle de tentacules, de forme diverse, mais toujours dentelés et repliés en panache.

Les pièces solides de l'enveloppe, si caractéristiques de la classe entière, et qui nous ont déjà fourni tant de différences dans leur disposition et leur forme, offrent ici un intérêt tout particulier par leur aspect et leur distribution spéciale. Nous les étudierons plus loin. Quant à la surface du corps, elle est couverte de tubercules coniques, plus ou moins saillants, suivant les espèces, mais ayant toujours un certain facies qui permet de reconnaître une Holothurie.

Organes de la digestion. — La bouche est placée à l'extré-

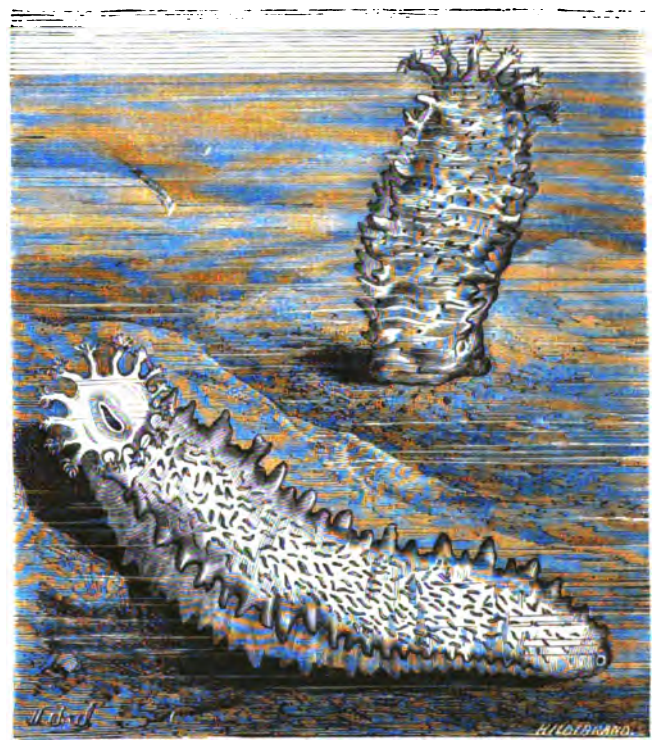


Fig. 331. — *Holothuria lutea*, Quoy et Gaimard (d'après *La vie et les mœurs des animaux*, par L. Figuier).

mité antérieure de l'animal, au centre de la couronne tentaculaire sur laquelle nous allons revenir. Elle est simple, sans appareil de mastication, sans caractères spéciaux.

L'intestin, dans lequel on a décrit un pharynx, un œsophage et d'autres parties encore, consiste en un tube plus ou moins contourné, qui apparaît quand on ouvre une Holothurie. Le plus ordinairement, ce tube digestif est rempli de gravier et de grains de sable, souvent volumineux. Chez les *Synaptes*, l'intestin est à peu près droit, dirigé d'un pôle à l'autre.

On a décrit autour de l'œsophage des corpuscules qui ont été pris à tort pour des glandules de sécrétion salivaire ; mais il existe de plus, sur les côtés de la première partie du tube digestif, un paquet rameux de tubes très-blancs, qui doivent leur coloration à de petites concrétions pierreuses qui les pénètrent. Ces paquets tubuleux ont été considérés, par les uns comme des glandes salivaires, par les autres comme des

Digitized by Google

glandes génitales. Cette seconde opinion semble préférable, en raison même des faits que j'alléguerai dans un moment. Ces canaux présentent ceci de particulier que leur contenu reste agglutiné, avec une persistance remarquable, aux doigts qui les saisissent.

L'anus, situé à l'extrémité opposée à la bouche, ne présente rien de particulier; mais le rectum est transformé en une sorte de renflement considérable ou de cloaque, dans lequel nous allons voir aboutir des organes importants.

Organes de la circulation. — Il y a sans doute encore des recherches à faire sur cette partie de l'organisation des Holothuries; mais la science possède sur ce sujet des observations plus positives que celles qui ont été faites sur l'appareil circulatoire des Échinodermes des autres groupes.

quelle on pourrait avec vérité donner le nom d'appareil aquifère, consiste en des ramifications tubuleuses, remplissant toutes les cavités du corps, sur lesquelles se distribuent des vaisseaux sanguins, et qui s'ouvrent par deux orifices dans le cloaque. Les parois de ces canaux arborescents sont très-contractiles, et peuvent, en se dilatant après une contraction, déterminer une sorte d'aspiration dont le résultat est l'entrée de l'eau. On observe souvent, si l'on conserve les Holothuries dans l'eau de mer pour les étudier, la sortie de ces filaments par l'anus; l'Holothurie se vide de ses organes internes avec une désespérante facilité.

Les *tentacules buccaux* peuvent sans doute être considérés comme des parties destinées à la préhension des aliments; mais il est également naturel de les regarder comme des

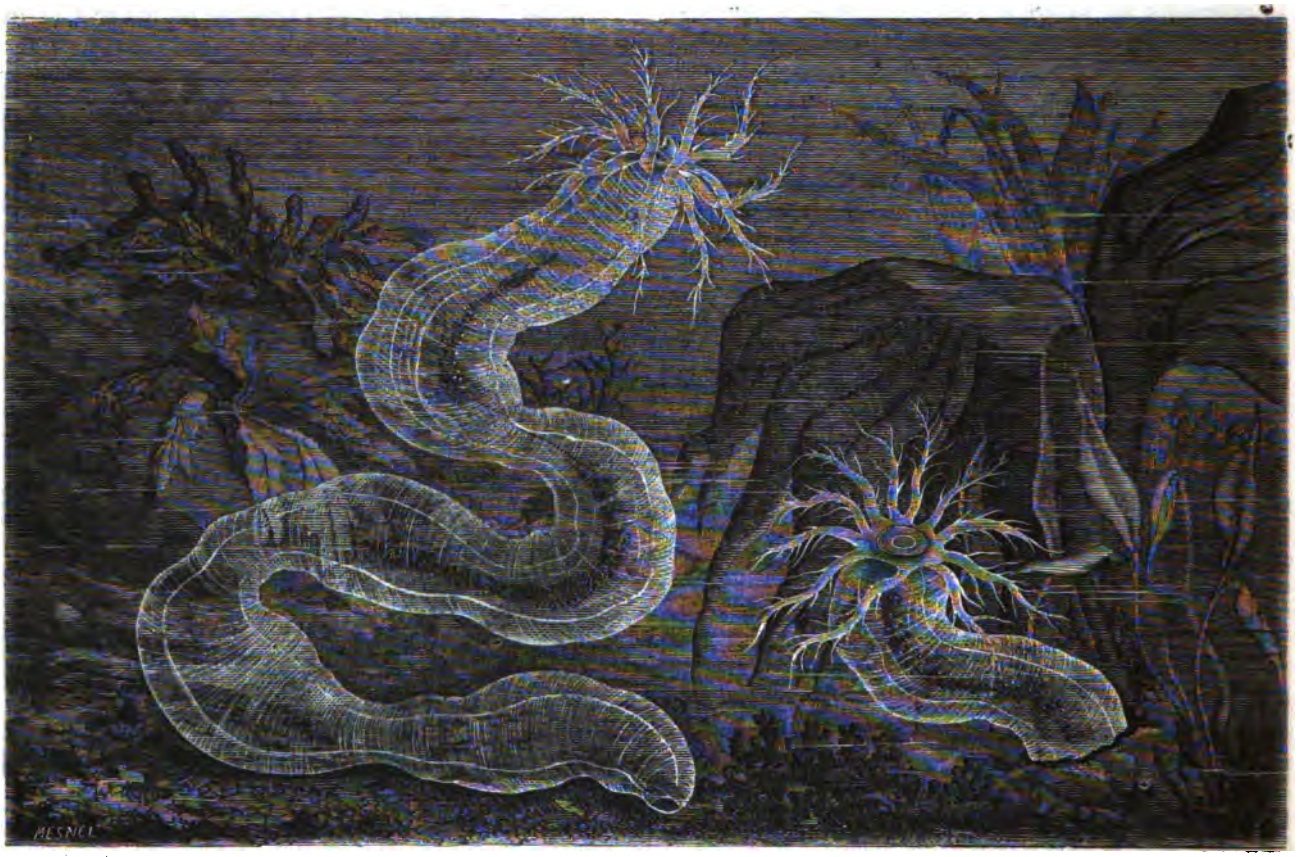


Fig. 332. — Synapte de Duvernoy (*Synapta Duvernæa*, Quatref.), d'après *La vie et les mœurs des animaux*, par L. Figuier.

M. Milne Edwards a donné, dans le *Règne animal*, une figure de l'appareil vasculaire de l'*Holothuria fistulosa*.

Von Siebold a décrit un cercle périœsophagien, et considère ce vaisseau circulaire comme une sorte d'aorte. De ce cercle partent deux vaisseaux longitudinaux qui suivent l'intestin, et dont l'un se renfle, vers sa partie moyenne, en une sorte de dilatation comparable à un cœur.

M. de Quatrefages a décrit, dans la *Synapte de Duvernoy*, un canal circulaire autour de la bouche, duquel partent des vaisseaux qui se rendent aux parois du corps; mais von Siebold considère cet anneau comme faisant partie du système aquifère des Holothuries.

Organes de la respiration. — La fonction respiratoire semble répartie à plusieurs ordres d'organes. Il existe ici une branchie interne qui s'ouvre au cloaque. Cette branchie, à la-

branchies externes; c'est une idée qui vient forcément à l'esprit, quand on envisage la forme de panache qu'affectent presque constamment ces tentacules.

Chaque tentacule est rétractile. Il peut rentrer entièrement dans une sorte de gaîne ou de vésicule allongée, qui semble continuer le tentacule dans l'intérieur du corps de l'animal. On a décrit un appareil vasculaire, exclusivement rempli d'eau, qui gonflerait ces vésicules et porterait l'eau dans les tentacules. De son côté, von Siebold semble dire que l'eau pénètre par les tentacules eux-mêmes; mais cela n'est rien moins que démontré.

M. de Quatrefages a décrit autour de la bouche de la *Synapte de Duvernoy* un cercle vasculaire qui envoie des prolongements dans l'intérieur des tentacules, en même temps qu'il fournit des vaisseaux longitudinaux aux parois; mais von Siebold semble indiquer que cet appareil, pris par les

Digitized by Google

anatomistes pour un appareil de circulation sanguine, appartient au système aquifère.

Il y a donc encore ne nombreuses divergences d'opinion entre les zoologistes, divergences qu'il faut attribuer à l'extrême difficulté que présentent chez ces animaux la recherche d'un système vasculaire.

M. de Quatrefages a décrit dans la *Synapte* des orifices par lesquels l'eau s'introduit dans la cavité générale du corps de l'animal. Ces orifices sont placés dans l'intervalle de deux tentacules : un orifice alterne avec un tentacule. Ils sont situés au sommet d'une sorte de papille qui fait saillie entre deux panaches. La cavité générale serait donc remplie par le liquide de l'extérieur, liquide bien différent de celui qui circule dans des canaux particuliers et qui ont été décrits avec raison comme des vaisseaux sanguins.

Outre cette sorte de système aquifère général, et en dehors de l'appareil circulatoire sanguin, MM. Milne Edwards et von Siebold ont décrit un anneau aqueux péribuccal. A cet anneau aboutit un vaisseau ou cæcum tubuleux qui, sur la figure de Carus est désigné sous le nom de *vésicule de Poli*. A cet anneau aboutiraient, de plus, des conduits qui le relieraient aux vésicules basilaires ou gaines des tentacules, et des vaisseaux qui descendraient le long des bandes musculaires et fourniraient des diverticulums pour chaque vésicule interne des ambulacres. C'est donc toute une circulation aqueuse distincte de la circulation sanguine.

Les *ambulacres*, auxquels se rendent, d'après les auteurs que nous venons de citer, des vaisseaux dépendant du système aquifère, ont ici une grande importance, car ils servent à la classification. Dans le genre *Cucumaria*, pour prendre un exemple, ils forment cinq séries longitudinales.

Organes de l'innervation. — M. de Quatrefages n'a point vu de système nerveux dans la *Synapte de Duvernoy*. Carus donne cependant un dessin de cet appareil, qui consisterait, dans une espèce de Synapte qu'il a étudiée, en un cercle périœsophagien d'où partiraient des nerfs pour les parties périphériques. C'est, on le voit, toujours la même disposition.

Les organes des sens sont inconnus.

Organes de la locomotion. — La partie musculaire est extrêmement développée dans les parois du corps des Holothuries : elle forme des bandes longitudinales et transverses des plus manifestes. Dans certaines espèces, les parois du corps peuvent atteindre l'épaisseur d'un centimètre. Cette épaisseur des parois, le pouvoir que possèdent ces animaux de se roidir en se contractant, sont parfois pour l'anatomiste des causes de réelles difficultés.

La partie calcaire de l'enveloppe extérieure des Holothuries présente une disposition caractéristique du groupe. La peau est parsemée de spicules calcaires, qui même ont été décrits par Ehrenberg comme des animalcules particuliers. La forme de ces spicules rappelle la forme de *grappins*, d'*ancres*, d'*hameçons;* ce sont, du reste, les noms qu'on leur donne. Ils sont peut-être plus nombreux du côté de la bouche que sur les autres parties du corps.

Dans la *Synapte*, M. de Quatrefages a montré qu'ils étaient fixés sur une plaque logée dans l'épaisseur de la peau. Il a décrit, de plus, des petits corpuscules renfermant des fils pelotonnés qui peuvent se dérouler et faire saillie : ce sont évidemment les analogues des *fils urticants* ou des *nématocystes* qu'on observe dans la peau des animaux d'autres groupes, dans les Polypes par exemple.

Autour de la bouche existe un cercle osseux que von Siebold semble comparer à l'anneau auriculaire des Oursins. Dans la *Synapte*, il est formé de douze pièces; quelques unes de ces pièces présentent un orifice central ovalaire, par lequel sort le canal aquifère qui conduit à la papille perforée placée entre les tentacules. Dans les Holothuries, ce cercle osseux est formé de dix pièces; il donne attache aux bandes musculaires longitudinales.

Organes de la reproduction. — M. de Quatrefages a montré que, dans la *Synapte*, les glandes mâle et femelle étaient unies. Il a vu leur orifice unique, résultat des anastomoses des conduits formateurs des œufs et des spermatozoïdes, s'ouvrir à côté de la bouche. Ces glandes génitales de la *Synapte* sont les analogues des vaisseaux blancs que nous avons vu exister autour de l'œsophage des Holothuries. Ici encore, il y a de nombreuses recherches à entreprendre.

Distribution méthodique. — Les Holothuries ont été divisées en deux groupes, suivant qu'elles présentent ou ne présentent pas de séries d'ambulacres ou de pieds : dans le premier cas, on a le groupe des HOLOTHURIENS; dans le second, le groupe des SYNAPTIENS.

Le groupe des HOLOTHURIENS comprend les genres :

Holothuria. — Vingt tentacules en deux séries alternes pieds inégaux, épars, plus nombreux en dessous.

Mulleria. — Cinq pièces calcaires au pourtour de l'anus. pieds inégaux, épars, surtout en dessous.

Bohadschia. — Forme radiée de l'anus, sans pièces calcaires, pieds inégaux, épars, surtout en dessous.

Cladolabes. — Pieds en dessous seulement, mais épars.

Psolus. — Trois rangs de pieds inégaux, tous en dessous.

Thyone. — Pieds inégaux, épars partout.

Cucumaria. — Corps pentagonal. Cinq rangées de pieds égaux sur toute la surface du corps.

Le groupe des SYNAPTIENS ou des *Holothuries apodes* renferme les genres :

Chirodota. — Tentacules pédonculés, digités.

Synapta. — Tentacules pennés. — L. E. Hallez.

FIN DU COURS.

BULLETIN DES COURS.

Conservatoire des Arts et Métiers (suite).

TRAVAUX AGRICOLES ET GÉNIE RURAL (les mercredis et samedis à sept heures et demie du soir). — M. HERVÉ-MANGON, professeur, a ouvert ce cours le mercredi 7 novembre.

Objet des leçons. — Construction et installation des bâtiments ruraux nécessaires aux divers systèmes d'exploitation. — Habitations et dépendances. — Bâtiments pour la préparation et la conservation des récoltes. — Chemins ruraux. — Clôtures. — Usines agricoles. — Examen de quelques cultures au point de vue du travail qu'elles exigent.

FILATURE ET TISSAGE (les lundis et vendredis à sept heures et demie du soir). — M. ALCAN, professeur, a ouvert ce cours le lundi 5 novembre.

Objet des leçons. — Exposé sommaire des principes fondamentaux des arts textiles. — Production des soies. — Magnaneries. — Étouffage et dévidage des cocons. — Moulinage et apprêts des fils de soie. — Tissage. — Classification et notation générale des tissus. — Étoffes unies et façonnées, à surfaces rases ou veloutées, à fils serrés et à mailles. — Apprêts mécaniques. — Machines à coudre et à broder.

TEINTURE, APPRÊT ET IMPRESSION DES TISSUS (les lundis et samedis à

Digitized by Google

huit heures trois quarts du soir). — M. Persoz, professeur, a ouvert ce cours le lundi 5 novembre.

Objet des leçons. — Étude des agents physiques et chimiques employés dans les industries du blanchiment, de la teinture et de l'impression des tissus. — Application des métalloïdes, des métaux, des alliages, des oxydes, des acides et des sels aux diverses opérations de ces industries.

Économie politique et législation industrielle (les dimanches à deux heures et demie, et les vendredis à sept heures et demie du soir). — M. Wolowski (de l'Institut), professeur, a ouvert ce cours le vendredi 16 novembre.

Objet des leçons. — Notions générales. — Lois du travail. — Les expositions. — Liberté du travail et du commerce. — La division du travail. — Les machines. — L'association. — L'échange. — La monnaie. — Le crédit. — Les banques : Banques de dépôt et de circulation. — Crédit foncier. — Crédit agricole. — Crédit industriel et commercial.

Économie industrielle et statistique (les mardis et samedis à huit heures trois quarts du soir). — M. J. Burat, professeur, a ouvert ce cours le mardi 6 novembre.

Objet des leçons. — De la production. — Des agents qu'elle emploie : agents naturels, travail, capital. — Des principes et des lois économiques qui régissent l'industrie agricole, manufacturière et commerciale. — Des institutions qui facilitent la production : poids et mesures, monnaie, lettre de change et moyens de crédit. — Voies de communication : routes, canaux, chemins de fer.

Faculté des Sciences de Paris.

PROGRAMMES DES COURS DU PREMIER SEMESTRE.

Géométrie supérieure (les mercredis et vendredis, à midi et demi). — M. Chasles, de l'Institut, professeur, ouvrira ce cours le mercredi 28 novembre. Il exposera la Théorie générale des sections coniques, et la Méthode fondée sur les deux caractéristiques d'un système de courbes. Il étendra ces considérations aux systèmes de coniques considérées dans l'espace, et aux systèmes de surfaces du second ordre.

Algèbre supérieure (les lundis et mercredis, à huit heures et demie). — M. Duhamel, de l'Institut, professeur, ouvrira ce cours le lundi 26 novembre. Il traitera des infiniment petits avant l'invention du Calcul différentiel, et montrera comment ils se sont présentés aux anciens et aux modernes. — Il examinera particulièrement l'usage qu'en a fait Newton pour l'expression des forces dans le mouvement curviligne, et la détermination de la loi d'attraction. Il s'occupera ensuite de la théorie des séries et du développement des fonctions en séries trigonométriques. Il terminera par quelques applications à la physique générale.

Calcul différentiel et intégral (les jeudis et samedis, à neuf heures). — M. J. A. Serret, de l'Institut, professeur, ouvrira ce cours le jeudi 29 novembre. Il traitera du Calcul différentiel.

Mécanique rationnelle (les mercredis et vendredis, à dix heures). — M. Liouville, de l'Institut, professeur, ouvrira ce cours, le mercredi 28 novembre. Il traitera de la Composition des forces et des lois générales de l'équilibre et du mouvement.

Astronomie (les lundis et jeudis, à dix heures et demie). — M. Puisseux, professeur, ouvrira ce cours le lundi 26 novembre, et traitera de la Mécanique céleste.

Calcul des probabilités et physique mathématique (les mardis et samedis, à dix heures et demie). — M. Lamé, professeur. M. Briot ouvrira ce cours le 4 décembre. Il traitera de la théorie de la lumière.

Mécanique physique et expérimentale (les mardis et samedis, à midi. — M. Delaunay, de l'Institut, professeur, ouvrira ce cours le mardi 27 novembre. Il traitera des principales machines employées dans l'industrie, et spécialement des machines motrices.

Physique (les mardis et samedis, à une heure et demie). — M. P. Desains, professeur, ouvrira ce cours le mardi 27 novembre. Il traitera de la Chaleur, du Magnétisme, de l'Electro-Magnétisme et de leurs principales applications.

Chimie (les lundis et jeudis à midi et demi). — M. Balard, de l'Institut, professeur, ouvrira ce cours le lundi 26 novembre. Il exposera les lois générales de la Chimie ; il fera l'histoire particulière des Corps non métalliques et de leurs combinaisons, soit entre eux, soit avec les métaux.

Zoologie, Anatomie, Physiologie comparée (les mardis et samedis, à trois heures et demie). — M. Milne Edwards, de l'Institut, professeur, ouvrira ce cours le samedi 1er décembre, et traitera de l'Anatomie comparée et de la Physiologie des animaux.

Minéralogie (les mercredis et vendredis, à une heure trois quarts). — M. Delafosse, de l'Institut, professeur, ouvrira ce cours le mercredi 28 novembre. Après avoir exposé les propriétés générales des Minéraux, il fera l'histoire des principales espèces, et plus particulièrement de celles de la classe des Métaux.

École des Mines de Paris.

Géologie (les lundis et jeudis à midi). — M. Élie de Beaumont (de l'Institut), inspecteur général des mines, sénateur, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, a commencé ce cours le lundi 12 novembre 1866, à midi précis, — M. de Chancourtois, ingénieur en chef des mines, suppléé M. Élie de Beaumont.

Minéralogie (les mardis et samedis à midi). — M. Daubrée (de l'Institut), ingénieur en chef des mines, a commencé ce cours le mardi 13 novembre 1866, à midi précis.

Paléontologie (les vendredis à midi). — M. Bayle, ingénieur en chef des mines, a commencé ce cours le 16 novembre 1866.

Muséum d'histoire naturelle.

Zoologie (*Annélides, Mollusques et Zoophytes*) (les lundis et vendredis à deux heures). — M. Henri Lacaze-Duthiers, professeur, commencera ce cours le lundi 26 novembre 1866, à deux heures, dans les galeries de zoologie. Le cours aura pour objet l'histoire générale des Mollusques. Comme les années précédentes, des conférences, toujours annoncées à l'avance, seront consacrées aux démonstrations et aux développements qui n'auraient pu trouver place dans les leçons générales.

Athénée de Paris.

Les retards nécessités par l'installation des expériences ont forcé de remettre la conférence de M. Lissajous, qui devait avoir lieu jeudi dernier; elle a été remplacée par une conférence de M. Taine sur Michel-Ange.

Samedi 24 novembre, à huit heures et demie du soir, M. Deschanel parlera sur *Henry Murger*, et M. Simonin, ingénieur, traitera ensuite du diamant.

Jeudi prochain, 29 courant, à huit heures et demie du soir, M. Delaunay (de l'Institut) fera une conférence sur *la Lune*. — Le jeudi suivant, 6 décembre, à la même heure, M. Lissajous parlera de l'*acoustique des yeux* et fera de nombreuses expériences.

Soirées scientifiques de la Sorbonne.

Les soirées littéraires et scientifiques de la Sorbonne recommenceront le lundi 17 décembre. La liste et l'ordre des conférences ne sont pas encore définitivement arrêtés ; mais ils doivent l'être très-prochainement. Il est probable qu'on déterminera de suite et en une seule fois toutes les conférences qui auront lieu cet hiver, au lieu de les répartir en deux séries, annoncées successivement, comme on l'avait fait les années précédentes.

AVIS.

Les abonnés dont l'époque de renouvellement échoit à la fin de novembre, et qui désirent à cette occasion changer les conditions de leur souscription et profiter des avantages que leur présente, soit l'abonnement d'un an, s'ils ne sont abonnés qu'au semestre, soit la souscription aux deux *Revues des cours scientifiques* et *littéraires*, sont priés d'avertir immédiatement M. Germer Baillière, en lui envoyant un mandat sur la poste ou des timbres-poste.

Les abonnés qui, d'ici à la fin de novembre, n'auront fait parvenir aucun avis au bureau de la *Revue*, seront considérés comme désirant continuer leur abonnement dans les mêmes conditions. En conséquence, ils recevront par l'entremise des porteurs, soit à Paris, soit dans les départements, une quittance analogue à celle qui leur a été déjà remise lors de leur première souscription.

Le propriétaire-gérant : Germer Baillière.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.

Digitized by Google

TABLE DES ÉTABLISSEMENTS PUBLICS

FRANCE.

Académie des sciences.

M. Coste : Eloge de du Trochet, 241.
M. Faye. Les étoiles nouvelles et les étoiles variables, 617.
Comptes rendus hebdomadaires, 1, 17, 73, 89, 121, 141, 161, 177, 209, 225, 257, 289, 305, 321, 353, 369, 385, 417, 521, 585, 633, 665, 681, 682, 745, 761, 777, 793, 825.

Collége de France.

Histoire naturelle des corps organisés. — Cours de M. A. Moreau : Du point de vue biologique dans l'étude des êtres vivants, 425. — Les poissons électriques, 722
Histoire de la médecine. — Cours de M. Daremberg : La médecine dans l'antiquité et au moyen âge, 33.

Muséum d'histoire naturelle.

Physique appliquée. — Cours de M. Becquerel : Mélange des gaz. — atmolyse, 118.
Physique végétale. — Cours de M. G. Ville : Assimilation de l'azote, du carbone, de l'oxygène et de l'hydrogène par les végétaux, 68, 95, 131, 233.
Zoologie (Annélides, Mollusques, Zoophytes). — Cours de M. Lacaze-Duthiers : Erreurs auxquelles peuvent conduire les déductions *à priori* en zoologie, 265. — Lamarck, 296, 311. — de Blainville, 357. — Valenciennes, 377. — Les Échinodermes, 457, 480, 515, 772, 819, 837, 841.
Zoologie (animaux articulés). — Cours de M. E. Blanchard : Histoire des progrès de la science relativement aux insectes, 729.
Anatomie comparée. — Leçon de M. G. Pouchet : Rapports anatomiques du système nerveux grand sympathique avec les vaisseaux capillaires, 709.
Physiologie comparée. — Cours de M. Vulpian : Des animaux réviviscents, 546. — De la digestion, 521, 613, 658, 718, 741, 752, 768, 799.

Conservatoire des Arts et Métiers.

Chimie agricole. — Cours de M. Boussingault. L'atmosphère dans ses rapports avec les êtres vivants, 2. — Développement de la graine, respiration des feuilles, 29, 100. — Assimilation de l'azote et absorption de l'eau par les végétaux, 101. — Circulation de la séve, 138. — Structure et composition chimique des végétaux, 188, 255. — Nature et fonctions du suc gastrique, 366. — Phénomènes physico-chimiques de la respiration, 375. — Chaleur animale, 412. — Composition de l'urine, 430. — Composition du lait, 431. — Fabrication du beurre et du fromage, 468. — De la substance musculaire, 485. — De l'alimentation, 512.

Faculté des sciences de Paris.

Physiologie générale. — Cours de M. Claude, Bernard : Le sang, 4, 18. — Les sécrétions, 41.
Doctorat. — M. Cloez : Les éthers cyaniques, 696. — M. Fouqué : Les phénomènes chimiques des volcans, 727.

Faculté de médecine de Paris.

Physique médicale. — Cours de M. Gavarret : L'atmosphère et les climats, 115, 136, 174, 200, 249. — Des images par réflexion et par réfraction, 417, 452, 463, 499, 525, 558, 596, 672, 705.
Anatomie pathologique. — Cours de M. A. Laboulbène : Histoire et importance de l'anatomie pathologique, 761.
Doctorat. — M. E. Onimus : La théorie dynamique de la chaleur dans les sciences biologiques, 615, 616.
Concours d'agrégation. — Leçon de M. E. Bourgoin : La série aromatique, 651.

Hôpital Beaujon.

Pathologie expérimentale. — Cours de M. G. Sée : L'alimentation, la nutrition et les anémies, 576, 625, 656.

Soirées scientifiques de la Sorbonne.

Histoire des sciences. — M. Bertrand : Clairault et la mesure de la terre, 57.
Physique. — M. A. Riche : Rôle de l'eau dans la nature. — Eaux de Paris, 105.
Physique. — M. Jamin : La foudre, 337.
Physique. — M. Lissajous : La radiation solaire, 537.
Mécanique. — M. Haton de la Goupillère : Histoire des machines à vapeurs, 141.
Chimie. — M. Troost : Scheele ; un laboratoire de chimie au xviiie siècle, 161.
Chimie. — M. Péligot : L'air, 289.
Chimie. — M. de Luynes : La teinture, 369.
Agriculture. — M. G. Ville : La crise agricole devant la science, 273.
Astronomie. — M. Briot : Les comètes, 209.
Astronomie. — M. Laussedat : Les éclipses de soleil, 634.
Géologie. — M. A. Gaudry : Animaux fossiles des environs d'Athènes, 74.
Géologie. — M. Lecoq : Les volcans du centre de la France, 177.
Zoologie. — M. Charles Lespès : Les fourmis, 257.
Physiologie. — M. Paul Bert : Le système nerveux, 489.

Enseignement libre à Paris.

Physiologie médicale. — Cours de M. Marey : Le mouvement dans les fonctions de la vie, 170, 203, 331, 346, 408, 549, 566.

Société des amis des sciences.

Conférences du conservatoire de musique. — M. Delaunay : Ralentissement du mouvement de rotation de la terre, 321.
Réunion annuelle a la Sorbonne. — M. le maréchal Vaillant, 385. — M. Boudet : But et situation de la société, 386. — M. A. Riche : Utilité des sciences spéculatives, 393. — M. Paul Bert : Éloge de P. Gratiolet, 388.

Cercle agricole de Paris.

M. Payen : Le soufre, son extraction et ses usages, 190.
M. A. Gaudry : La géologie du bassin de Paris, 601.

Association polytechnique.

M. Barral : Situation actuelle de l'agriculture en France, 505.
M. Bouchardat : Le blé dans ses rapports avec l'hygiène publique et la mortalité ; les famines, 777.
M. Dumas : Conquête de la nature par les sciences, 240.

Association scientifique de France.

M. A. Bertin : Constitution de la glace, 397.
M. J. Jeannel : Les dissolutions sursaturées, 758.
M. Fouqué : L'éruption d'une île volcanique, 553.
M. C. Wolf : Les mouvements propres des étoiles, 665.

Conférences scientifiques des départements.

Angoulême. — M. Ch. Contejean : Origine et avenir de la terre, 401.
Auxerre. — M. Ed. Hébert : Oscillations de l'écorce terrestre pendant les périodes quaternaire et moderne, 473.
Bordeaux. — M. J. Jeannel : Erreurs vulgaires au sujet de la médecine, 285.
Nancy. — M. Nicklès : Transformations des couleurs par l'éclairage artificiel, 220.
Versailles. — M. A. Cazin : Le son, 569.

ALLEMAGNE.

Congrès des naturalistes allemands.

Session de Hanovre — M. R. Virchow : Développement national des sciences, 156.
Session de Carlsruhe. — M. R. Virchow : Conception mécanique de la vie, 305.

Université de Berlin.

Anatomie pathologique. — Cours de M. R. Virchow : Les tumeurs, 592, 606.

Conférences scientifiques de Berlin.

M. R. Virchow : La vie du sang, 90. — Atome et individu, 697.

Conférences scientifiques de Heidelberg.

M. Helmholtz : La glace et les glaciers, 433. — Lettre en réponse de M. J. Tyndall, 447. — Lettre en réplique de M. Helmholtz, 452.

SUISSE.

Université de Bâle.

Chimie. — Cours de M. Schoenbein : Les actions catalytiques, 62.

Conférences scientifiques de Zurich.

M. Clausius. — Nature de la chaleur comparée à la lumière et au son, 121.

ITALIE.

Université de Turin.

Physiologie expérimentale. — Cours de M. Moleschott : La physiologie base de la médecine, 81.

Conférences scientifiques de Turin.

M. Matteucci : La théorie dynamique de la chaleur, 193 ; — applications aux sciences physico-chimiques, 809 ; — applications à l'astronomie et à la physiologie, 830.

Digitized by Google

Athénée de Venise.

M. G. Namias : La respiration, 472.

ANGLETERRE.

Institution royale de la Grande-Bretagne.

M. J. Tyndall : La chaleur rayonnante, 226.
M. Archibald Smith : Déviation de la boussole dans les vaisseaux de fer, 353.
M. Roscoe : Opalescence de l'atmosphère, 815.
M. Balfour-Stewart : Médium éthéré remplissant l'espace, 649.
M. Abel : Nouvelles substances pour remplacer la poudre, 825.
M. Bence-Jones : D'une substance fluorescente, analogue à la quinine, dans les tissus des animaux, 737.
M. Pengelly : La caverne de Kent, 620.
M. Ansted : Volcans de boue et gisements de pétrole en Crimée, 793.
M. J. Lubbock : Les métamorphoses des insectes, 587.
M. A. S. Herschel : Les étoiles filantes en 1865-1866 ; probabilité de leur origine cosmique, 790.

Sermons laïques de Londres.

M. Huxley : Importance sociale des progrès des sciences, 183.

Congrès botanique de Londres.

M. Alphonse de Candolle : Rapports de la botanique et de l'horticulture, 532.

Association britannique pour l'avancement des sciences.

Session de Nottingham. — Discours de M. Grove : La continuité dans la nature, 681. — Discours de MM. Hind, 746 ; — Harrison, 747 ; — Bence-Jones, 748 ; — Ramsay, 749 ; — Huxley, 750 ; — Wallace, 751 ; — S. Baker, 752 ; — etc., etc.

AMÉRIQUE.

Société médicale du Massachusets.

M. B. Cotting : La maladie dans le plan de la création, 713.

VARIÉTÉS.

Le choléra à Paris en 1832, 1849, 1853-54 et 1865, 15.
L'antilope gras de Hambourg, 616.
L'embonpoint chez les Africaines, 616.
Inconvénients des cosmétiques, 760.

BULLETIN DES COURS.

Collége de France, 72, 104, 336.
Muséum d'histoire naturelle, 192, 304, 336, 352, 384, 432, 504, 808, 824, 846.
Conservatoire des arts et métiers, 840, 845.
École des mines de Paris, 846.
Faculté des sciences de Paris, 72, 272, 846.
Faculté de médecine de Paris, 320, 808.
École de pharmacie de Paris, 336.
Soirées scientifiques de la Sorbonne, 140, 272, 273, 352, 846.
Conférences scientifiques libres à Paris, 88, 224, 304, 584, 792.
Conférences scientifiques dans les départements, 88, 104.
Universités belges, 176, 208.
Universités italiennes, 176.
Conférences scientifiques à l'étranger, 88, 225, 288, 304, 472, 584, 712, 825.

TABLE DES PROFESSEURS

MM. Abel, 825.
Ansted, 793.
Baker (S.), 752.
Balfour-Stewart, 649.
Barral, 505.
Becquerel, 118.
Bence-Jones, 73, 748.
Bernard (Claude), 4, 18, 41.
Bert (Paul), 489, 338.
Bertin (A.), 397.
Bertrand, 57.
Blanchard (E.), 729.
Boudet, 386.
Bourgoin (Edme), 651.
Bouchardat, 777.
Boussingault, 2, 29, 100, 138, 188, 255, 256, 366, 375, 412, 430, 468, 485, 512.
Briot, 209.
Candolle (Alphonse de), 532.
Cazin (Achille), 569.
Clausius, 121.
Cloez, 696.
Contejean (Charles), 401.
Coste, 241.
Cotting (B.), 713.
Daremberg, 33.
Delaunay, 321
Dumas, 240.
Faye, 617.
Fouqué, 553, 727, 728.
Gaudry (Albert), 74, 601.
Gavarret, 115, 136, 174, 200, 249, 417, 452, 463, 499, 525, 558, 590, 672, 705.
Grove, 681.
Harrison, 477.
Haton de la Goupillère, 141.
Hébert (Ed.), 473.
Helmholtz, 433, 452.
Herschel (A. S.), 790.
Hind, 746, 747.
Huxley, 183, 750.
Jamin, 337.
Jeannel (J.), 285, 758.
Laboulbène (A.), 761.
Lacaze-Duthiers, 265, 296, 311, 357, 377, 457, 480, 515, 772, 819, 837.
Laussedat, 634.
Lecoq, 177.
Lespès (Charles), 257.
Lissajous, 537.
Lubbock (John). 587.
Luynes (de), 369.
Marey, 170, 203, 331, 346, 408, 549, 566.
Matteucci, 193, 809, 830.
Moleschott, 81.
Moreau (Armand), 425, 722.
Namias (G.), 472.
Newton (A.), 751.
Nicklès, 220.
Onimus (E.), 615, 616.
Payen, 190.
Péligot, 289.
Pengelly, 620.
Pouchet (Georges), 709.
Ramsay, 749.
Riche (A.), 105, 393.
Roscoe, 815.
Schoenbein, 62.
Sée (G.), 576, 625, 656.
Smith (Archibald), 353.
Troost, 161.
Tyndall (John), 226, 447.
Vaillant (maréchal), 385.
Ville (Georges), 68, 95, 131, 232, 273.
Virchow (Rudolf), 90, 697, 156, 305 592, 606.
Vulpian, 521, 613, 658, 718, 741, 752, 768, 799, 546.
Wallace, 751.
Wolf (C.), 665.

Digitized by Google

TABLE ANALYTIQUE DES MATIÈRES

A

Abcès, chez les animaux fossiles, 714.
Abeille, 588-590, 729, 732-733. — parasite qu'elle prend sur l'*Helianthus*, 121.
Absorption, 524. — l'inanition la rend très-difficile, 583. — chez les échinodermes, les insectes, les crustacés et les mollusques, 772. — *Vaisseaux absorbants*, 245.
Acajou, dimensions, longévité, 189.
Acalèphes, leur place dans le règne animal, 459, 460. — reproduction, 702.
Acariens, 744.
Acarus des abeilles et de l'*Helianthus*, 121.
Accords musicaux, représent. optique, 573.
Accouchement, 765.
Acéphales (mollusques), 379, 380.
Acéphalocystes, parasites, 592.
Acérothérium, 79.
Acétification, 397.
Acétique (ac.), 739 ; dans la digestion, 804.
Acétyle (chlorure d'), action de l'essence d'amandes amères, 655.
Acétylène, point de départ de la série aromatique, 652, 653, 654. — act. de la chaleur, 654.
Acides, action sur le lait, 431. — ac. aromatiques, 652, 655, 656. — Voy. pour chaque ac. à son nom particulier : *carbonique*, *sulfurique* (ac.), etc.
Acier, température de fusion, profondeur où il est fondu, 250. — fabrication, 731. — *aciérage*, 744.
Actinie, 480, 481, 482. — place dans le règne animal, 459, 460, 461. — développement des tentacules, 267 et suiv.
Aérolithes, 403, 792. — influence sur la température, 417.
Aérostats (ascensions en), effets sur l'organisme et autres, 137.
Affinité chimique dans ses rapports avec la théorie mécanique de la chaleur, 809 et suiv. — source de chaleur, 830.
Afrique, matières alimentaires, 513.
Agave américain, rendement, 101.
Age, son influence sur la rapidité des mouvements respiratoires, 375.
Aglobulie, maladie du sang, 582.
Agriculture, débouchés, libre échange, 506. — divers éléments du prix de revient, 507 et suiv. — situation actuelle, en France, 505 à 515. — la *crise agricole* devant la science, 273 à 285. — *Crédit agricole*, 282 à 284, —insuffisance, 511, 512.
Aï, estomac, 772.
Aigle, nourri avec des végétaux, 614.
Air, 289 à 296. — analyse par Scheele, 167. — présence de l'ammoniaque et de l'oxyde de carbone, 290. — ozone, 290 à 293. — iode, 293 à 295. — cristallisation des dissolutions sursaturées, poussières de cristaux, 295, 296. — nécessité de renouvellement, 377. — absorption future par le sol, 408. — perd la moitié de son azote en traversant le caoutchouc, 689, 748. — tue par son introduction dans les veines, 429. — introduction dans l'estomac par la salive, 753. — vitesse comparée de la *lumière* dans l'air et dans l'eau, 545, 650.
Airy (anneaux d'), 400.
Aland (îles d'), 477.
Albert Nyanza, lac, source du Nil, 752.
Albuminates, 576. — dans la viande et le poisson, 579.
Albumine, 739, 831, 833. — coagul. par la chaleur, 486, 487. — par l'ac. azotique, l'alcool, le tannin 727. — influence de la chaleur sur sa solubilité, 549. — formation et décomposition, 690. — ne peut se préparer artificiellement, 613. — comme aliment, 351, 578. — aliment plastique, 613. — sa digestion, 804, 805. — digestion artificielle par simple ébullition, 806. — rôle dans la production de la force musculaire, 690. — son altération engendre des tumeurs, 594. — diverses voies d'élimination, 664. — présence dans les végétaux, 189, 190, 576. — dans le blé, 513. — dans le fourrage, 469. — dans le sang, état libre ou combiné, élimination, 6, 7, 368. — dans le lait, 431. — dans la salive, 660, 662. — dans les muscles, 625. — dans la chair de bœuf et de poisson, 486. — dans l'urine, sous l'influence de certaines maladies, 416, 430. — dans l'appareil électrique de la torpille, 727.
Albuminose. Voy. Peptone.
Albuminurie, dans l'inanition, 582.
Alcalis aromatiques. V. Aromatiques (alcalis).
Alcool, action excitante et stupéfiante sur l'organisme, 740. — action sur le lait, 431. — coagule l'albumine, empêche la décharge de l'appareil électrique de la torpille, 727. — acétification, 397. — *alcools*, résultat de leur réduction et de leur oxydation, 655. — dans la série aromatique, mode de génération, 651, 652, 654, 655. — *boissons alcooliques* excitent la sécrétion gastrique, 803. — abus, effets physiologiques, 515.
Alcyons, 302, 303. — *alcyonaires*, 482 ; class. dichotom., 303. — *alcyonides*, 459, 460.
Aldébaran, étoile, mouvement propre, 667.
Aldéhydes, transformation en alcool, 654. — dans la série aromatique, mode de génération, 651, 652, 655.
Algol, étoile variable, 618.
Alimentation, 512 à 515, 576 à 581, 690. — influence sur la formation et la séparation des races d'insectes, 694. — *défectueuse* comme source d'*anémie*, 583, 584. — *alimentation insuffisante*, principale cause de mortalité, 368. — effet sur le nombre des naissances et des décès, 786. — effets sur la déperdition des éléments histologiques, la constitution du sang, les urines, la combustion respiratoire et la chaleur animale, la digestion et l'absorption, cause d'*anémie*, 581 à 583. — alimentation de l'ouvrier, 656, 657. Voy. Aliments.
Aliments, 351, 352, 523, 524. — nature, classification, 613 à 615. — constitution similaire des aliments végétaux et animaux ; on peut les intervertir chez les carnivores comme chez les herbivores, 614. — les animaux ne peuvent se nourrir de matières minérales, 614, 615. — influence sur la chaleur intérieure, 413, 414. — différences de digestibilité, 366, 367. — nécessité de les varier, 368. — aliments plastiques et respiratoires. — origine et transformation des principes alimentaires, 576 et 577. — combustion et fixation, 577. — pouvoir plastique et thermogène, 577. — pouvoir nutritif, 578, 579. — usage des matières inorganiques, sel marin, 579. — effets de la privation d'aliments, 367. — variations de la quantité nécessaire, 628. — ration normale de l'homme, 579 à 581. — action excitatrice sur la sécrétion salivaire, 719. Voy. Chair, Viande, Beurre, Fromage, Albumine, Fibrine, etc.
Allaitement, 514. — ses effets, 432. — allaitement *artificiel*, 86. Voy. Lait.
Allantoïde, chez les fœtus des oiseaux, des mammifères et des reptiles, 243.
Allemandes (universités), leur esprit ; les papes et les souverains étrangers veulent l'étouffer, 160.
Allongée (moelle). Voy. Moelle allongée.
Alose, appareil digestif, 769.
Alpes, température des hautes régions, neiges perpétuelles, 434.
Alternantes (générations), 427, 590, 591.
Altitudes, 487. — influence sur la température et la végétation, 175, 176.
Alumine, son emploi en teinture, 371.
Aluminium, métallurgie, 396.
Aluminium (chlorure d'), rôle dans les éruptions volcaniques, 728.
Alun, son action sur la chaleur rayonnante, 128. — sursaturation, 759. — *alun ammoniacal*, morphogénie moléculaire, 777.
Amandes amères (essence d'), 651, 652. — action de l'ac. chlorhydrique ; act. du chlorure d'acétyle, product. d'ac. cinnamique, 655.
Amandiers, leur assimilation d'azote, 100.
Ambre jaune, propriété électrique, 337, 394.
Ambulacres, chez les oursins, 483, 517. — rôle dans la respiration, 519, 520, — chez les astéries, 821, 823, 824. — chez les ophiures, 838. —chez les crinoïdes, 842. — chez les holothuries, 845.
Amérique, matières alimentaires, 513. — *Amérique du Sud*, nourriture des esclaves, 514. — exhaussement des côtes occidentales, 478.
Amibes, 426. — dans le sang, 19.
Amides aromatiques, génération, 653, 656.
Amidon, 255, 256, 576, 739, 831. — comme aliment, 351.—transformation en graisse, 613.—en sucre, 754. —act. des ferments, 613. — formation et décomposition, 690. — dans les végétaux, 189, 190. — dans le blé, 513. — dans la poudre, 826.
Amis des sciences (société des), 305, 385.

Digitized by Google

Ammocète, jeune lamproie, 427.
Ammoniac (sel). Voy. Ammoniaque (chlorhydrate d').
Ammoniacaux (sels), quantité contenue dans l'humus, 102.
Ammoniaque, quantité contenue dans l'air, 69, 70, 116, 117, 290. — décomposition par les végétaux, production par les animaux, 690. — rôle dans l'assimilation de l'azote par les végétaux, 69 à 71. — assimilation des vapeurs ammoniacales, plus facile que celle du gaz azote élémentaire, 131, 132. — assimilation de l'ammoniaque à l'état de sel par les plantes, 131 et suiv. — absorption par le charbon de bois, 120. — dans l'urine, 430.—dans la distillation du charbon, 739. — les végétaux, 831.
Ammoniaque (azotate d'), dans l'air, 117.
Ammoniaque (carbonate d'), 739.
Ammoniaque (chlorhydrate d'), ou *sel ammoniac*, action sur diverses cultures 132, 134. — urine, 415.— suc gastrique, 803.
Ammoniaque (lactate d'), dans l'urine, 415.
Ammoniaque (phosphate d'), action sur le développement des végétaux, 132. — dans l'urine, 415. — rend les étoffes incombustibles, 396.
Ammoniaque (oxalate d'), action sur le développement des végétaux (orge et blé), 134.
Ammoniaque (sulfate d'), action sur le développement des végétaux, 132.
Ammonites, leurs diverses formes servent à la classification des couches du lias, 691.
Amorphes (substances), cristallisation, 793.
Amorphozoaires, 482.
Amphioxus, appareil digestif, 768.
Amputés, continuent à souffrir au bout du membre enlevé, 494.
Amygdaline, dédoublement, sous l'influence de l'émulsine, en essence d'amandes amères et ac cyanhydrique, 65, 807, 808.
Amylacées (substances), constitution physique et chimique, 255. — comme aliment, 576, 577. — mode d'élimination, 577.
Amyline, action du chlore, 749.
Anales (plaques), chez l'oursin, 517.
Analyse, en physiologie, 171.
Ananchytes, 837.
Anatomie, 750. — *anatomie pathologique*, 761 à 768.
Ancylothérium, 76.
Ane, plus musical que le rossignol, 497.
Anémie, 514, 581 à 584, 625 à 632, 656 à 658. — causes des anémies: alimentation insuffisante, 581 à 583. — alimentations défectueuses, 583, 584. — dyspepsie, arrêt de l'assimilation, 584. — épuisement musculaire, 625 à 632, 656, 657. — épuisement nerveux, 657, 658.
Anesse, composition de son lait, 531.
Anéthol, 651.
Anglais (jardins), leur poésie, 536.
Anglais (ouvriers), ration alimentaire, 514.
Angleterre, unie autrefois au continent, 750. — prix du blé depuis 1714, rapport avec la mortalité, 782, 783.
Anguillules, parasite du blé, migrations, dessiccation, réviviscence, 546, 547.
Aniline, 651, 653. — mode de génération, 654, 656. — action de l'ac. azoteux, transformation en phénol, 654. — série des *couleurs d'aniline*, 373, 374.
Animale (chaleur), 93, 94, 376, 412 à 415. — sources, 525, 833.—chaleur exhalée par les animaux, 413. — chaleur extrême qu'ils peuvent supporter, 414. — influence de diverses maladies, 415. — diminution dans l'inanition, 582, 583.
Animale (série), 318, 360, 362 à 365.
Animale (vie), et vie végétative, 521.
Animaux, distribution géographique, 716. — propagation, 702 et suiv. — individualité, 702 à 704. — types, 733. — unité de plan d'organisation, 733, 734. — contiennent les mêmes substances que les végétaux, 739.
Anisique (ac. et alcool), 651, 652. — action sur la chaux et la baryte, 655.
Anisol. Voy. Méthylphénol.
Ankylose, chez les animaux fossiles, 714.
Annelés (animaux), 587 et suiv.
Annélides, 587.
Annulosa. Voy. Annelés (animaux).
Anodonte des cygnes, acéphale, 380.
Anoplothérium, quadrupède fossile, 604.
Anthozoaires, 459.
Anthracothérium, quadrupède fossile, 605.
Anthropologie, 751.
Antimoine (sulfure d'), dans la poudre, 826.
Antilope, 616.
Antisana (équateur), hauteur barométrique, 138. — température moyenne, glaciers, 175. — altitude, pression, ébullition de l'eau, cuisson des viandes, 487.
Antophora, abeille solitaire, 589.
Antozone, 749. — son rôle avec l'ozone dans les phénomènes catalytiques, 62, 64.
Apathiques (animaux), 319.
Aphroessa, nouvelle île volcanique. Voy. Santorin.
Apoplexie, 93.
Arachnides, 587, 727, 733. — formation de l'embryon dans l'œuf, 734. — organisation, circulation, 736. — collections, 736, 737. Voy. Araignées.
Arachnodermaires; 482.
Araignées, 587, 736. — soie, 731.
Arcturus, étoile, mouvement propre, 667.
Arcueil (eau d'), 109, 110. — aqueduc, 111.
Argent, température de fusion, profondeur où il est fondu, 250. — son action catalytique, 62. — spectre lumineux, 228. — lumière transmise à travers ce métal, coloration, 681, 682. — existe dans la lune, 686. — équivalent calorifique, 809.
Argent (bromure d'), act. de la lumière, 395.
Argent (chlorure d'), action de la lumière, 395. — équivalent calorifique, 810.
Argent (iodure d'), act. de la lumière, 395.
Argent (oxyde d'), équiv. calorifique, 810.
Argenture galvanique, 395.
Argile, comme amendement des terres, 603. — *argile bitumineuse*, gisements, 796. — *argile plastique*, étage géologique, usages, 603. — animaux fossiles, 604.
Argonaute (moll.), système nerveux, 491.
Aristote (lanterne). Voy. Lanterne d'Aristote.
Aromatique (série), corps qu'elle comprend, théorie de leur dérivation, génération, etc., 651 à 656. — *ac. aromatiques*, mode de génération, 655, 656. — *alcalis aromatiques*, mode de génération, 656. — *substances aromatiques* excitent la sécrétion gastrique, 803. — *amides aromatiques*, Voy. Amides.
Arrêt (chien d'), 498.
Articulés (animaux), 727 et suiv. — système nerveux, 491. Voy. Insectes, Arachnides, Myriapodes, Crustacés.
Artérielle (circulation), 23, 24.
Artésiens (puits), à Paris, 111, 112.
Artificielles (pierres précieuses), 394.
Ascaridiens, 482.
Ascaris nigrovenosa, générations alternantes, influence du milieu, 427.
Ascension, perte de chaleur qui résulte de ce travail, 629.
Ascidies, 459, 461.
Asie, matières alimentaires, 513.
Asphyxiés, retour à la vie, 314.
Aspronisi (île de). Voy. Santorin.
Assolement triennal, 280.
Astéries, 460, 480, 481, 484, 837. — organisation, 821 à 824. — orientation du corps, 821. — rapports avec les oursins, 821, 822. — circulation, respiration, 823, 824. — système nerveux, 824. — reproduction, 824. — Astérides, 482, 485, 516, 821 à 824. — distribution méthodique, 824.
Astéroïdes ou petites planètes, 684.
Astrée, 268.
Astroïdes calycularis, 270.
Astronomique (lunette), 672 à 675.
Astrophyton, 484, 838, 839, 840.
Athénée de Paris, 225, 226, 792, 825, 846.
Athénée de Venise, conférences scientifiques, 88.
Athènes, animaux fossiles des environs, 74 à 81. — aspect des plaines et des montagnes qui l'entourent, 74, 75. — brigandage, maladies, mœurs, 75. — rapport des herbivores et des carnivores fossiles, 77.
Athérome, tumeurs, 593.
Atmolyse, 119.
Atmosphère, 136 à 138. — sa constitution chimique, 2. — composition, 115 à 118. — hauteur et volume total, 408. — absorption future par le sol, 408. — distribution de la *température* moyenne, 174, 175. — influence de la latitude et de l'altitude sur la température de l'air et la végétation, 175, 176. — distribution de l'*humidité*, variations mensuelles, voisinage de la mer, altitude, direction des vents, déboisements, 252 à 254. — *spectre* lumineux, 749. — quantité et intensité des rayons chimiques, opalescence, 815 à 819. — causes de sa coloration, 816, 819. — intensités chimiques relatives de la lumière directe et diffuse, 816, 818.
Atmosphérique (électricité), 340, 342. Voy. Foudre, Électricité.
Atmosphérique (pression), 487. — ses effets sur l'organisme, 136. — pression sur le corps de l'homme, 136. — maintient la tête du fémur dans la cavité cotyloïde, 137. — effets observés dans les ascensions de montagne et en aérostats, 137. — explication des effets éprouvés dans les montagnes, 138. — hauteurs barométriques dans différents lieux, 138.
Atome et individu, 697 à 704.
Atomique (théorie), en chimie, 698.
Atropine, 738. — rapidité de l'action sur l'œil, 741.
Attolls, 478.
Aurélie, 480.
Auriculo-temporal (nerf), influence sur la sécrétion de la glande parotide, 721.
Auscultation, 765. — comme moyen d'apprécier le nombre des vibrations musculaires, 552.
Australie, s'affaisse, 479.
Australien (crâne), 751.
Autophagie, 581, 582.
Autruches, estomac, 769.
Auvergne, lutte des agents physiques, volcans, beauté des paysages, flore, 177 à 182.

Digitized by Google

Avoine, végétation, gain d'azote, 68, 96. — carbone contenu, 233.
Axobenzide, 653.
Axolotl, têtard d'un batracien urodèle, génération alternante, 427.
Axoxybenzide, 653.
Azotate d'ammoniaque, voy. Ammoniaque (azotate d').
Azotates, contenus dans l'air, l'eau de pluie et la neige, leur rôle dans l'assimilation de l'azote par les plantes, 71. — quantité dans l'humus, 102. — supérieurs aux sels ammoniacaux pour l'assimilation de l'azote par les végétaux, 132. Voy. au nom de chaque base : Potasse, Soude, etc.
Azote, 166, 167. — dans l'air, 116, 289, 377. — *assimilation* par les végétaux, 68 à 72, 95 à 100, 101, 102, 116, 131 à 136. — rôle de l'azote libre de l'air, 95 à 100, 101, 102. — assimilation à l'état d'ammoniaque plus facile qu'à l'état de gaz élémentaire, 131, 132. — existe dans les végétaux, rôle dans la végétation, 189, 274, 275. — dans le pain, 514. — dans les aliments, 578, 579. — dans le sang, 368. — s'élimine par les reins, 577, 580, 581. — dégagement dans les cuves de vinage, 745. — dans les volcans de boue, 798. — quantité dans l'humus, 102. — absorption par le charbon de bois, 120. — diminution dans l'air qui traverse le caoutchouc, 689, 748. — existe dans les nébuleuses, 404. — *aliments azotés* et non azotés, 576, 577.
Azoteux (ac.), action sur l'aniline, 654.
Azotique (ac.), réaction sur l'ac. phénique, 374. — sur la benzine, 654, 656. — sur le cymène, 655. — action excitante, 743. — coagule l'albumine, empêche la décharge de l'appareil électrique de la torpille, 727. — dans la pile galvanique, 810. — Voy. Nitroglycérine.

B

Bacillariés (végétaux), réviviscence, 546.
Bactéries, dans le sang, 20.
Baguettes, organes des oursins, 483.
Baillement, mécanisme réflexe, 494.
Bails ruraux, en Angleterre, clause pour la plus-value résultant de la culture, 507.
Balanophyllia, 270.
Baltique (mer), salure, possédait autrefois des huîtres, 475. — exhaussement de son fonds, 476, 477. — communiquait autrefois directement avec la mer Glaciale et la mer du Nord, 476, 477.
Bananes, 256. — culture, 101.
Barattage du beurre, 469.
Baryte, signalée par Scheele, 166. — action sur l'ac. anisique, 655. — sur l'ac. vulpinique, 655. — sur le protagon, 657.
Baryte (azotate de) dans la poudre, 825.
Baryum (benzoate de), action sur le chlorocétène, 655.
Baryum (bioxyde de), sert à produire de l'ozone par sa décomposition, 291.
Basaltes, en Auvergne, 179.
Batraciens, n'ont pas de glandes salivaires, 658. — appareil digestif, 769.
Batteries électriques, 340.
Bélemnites, 364, 365.
Belladone, action sur les animalcules réviviscents, 549. — sur la scarlatine, 288.
Benzidine, 653.
Benzine, 651, 652, 653. — fabrication, 374. — transformations, 654. — action de l'ac. azotique, génér. de l'aniline, 654, 656.
Benzilammine, 653.
Benzoène, 652. — génération, 654. — action du chlore, 654. — génération de l'ac. toluique, 655.
Benzoïde (chlorure de), action sur le glycolate de zinc, 656.
Benzoïque (ac.), 651, 652, 653. — action des alcalis, 654. — transformation en ac. oxybenzoïque et dioxybenzoïque, 655.
Benzoïque (alcool) de Cannizaro, 651.
Berlin, températures moyennes, 202.
Béroé, mollusque acalèphe, 460, 480, 482.
Berthollet (lois de), dans la théorie dynamique de la chaleur, 615.
Besançon (approvisionnement d'eau de), 114.
Bestiaux surmenés, se putréfient rapidement, pourquoi, 522.
Betteraves, action de l'azotate de soude et du chlorhydrate d'ammoniaque, 132. — carbone contenu, 233. — carbone fixé, 234. — fixation d'azote, 68.
Beurre, fabrication, 468, 469. — production et rendement du lait, 470. — présence dans les aliments, 469, 470. — dans le lait, 431, 471. — dans le fromage, 472. — *beurre de cacao*, 515.
Biconcave (lentille), 558 à 563.
Biconvexe (lentille), théorie, formation des images, 500 à 504, 525 à 528.
Biéla (comète de), 216.
Bile, 352. — proportion de quinoïdine animale, 739. — fluorescence sous l'influence de la quinine, 740. — n'existe pas dans le sang, 719. — se trouve dans l'urine, 416. — élimine le carbone et l'hydrogène, 577. — et l'albumine, 664.
Biologie, 750. — *point de vue biologique* dans l'étude des êtres vivants, 425 à 430.
Bismuth, dans la lune, 686.
Bitume, 652. — dépôts, 749. — dans les volcans de boue, 796.
Blanchiment par le chlore, 163, 164.
Blandin (glandes de), dans la bouche, 659.
Blastogenèse, 776.
Blé, composition chimique, 189. — végétation, gain d'azote, 96. — nielle, anguillule, 546, 547. — rendement, 99. — prix de revient, prix de vente, 280, 281, 506 et suiv., 509 et suiv. — débouchés, 509. — influence de la température pendant la floraison sur le résultat de la récolte, 510. — variations des récoltes dans des localités déterminées, 510.— production, statistique, 511, 512. — rendement à la mouture, 513. — rendement de la farine en pain, 513. — rapport de son prix avec la mortalité, la santé publique, le nombre des naissances et celui des mariages ; disettes, famines, 777 à 790. — prix annuel en France, depuis 1724, 782 à 785. — prix à Londres, depuis 1714, 782, 783. Voy. Pain.
Bleu de Prusse, 370.
Bleus (rayons lumineux), chaleur correspondante, 541. —absorpt. par l'œil, 741.
Bœuf, 474, 475. — quantité de salive sécrétée, 664, 753. — salives élémentaires sans action sur les substances amylacées, 754. — fer dans le sang, 368. — quinoïdine animale dans l'œil, 738. — *bœuf fossile*, 605. — comme *aliment*, digestibilité, 366. — prix dans l'Amérique du Sud, 488. — n'est pas infecté par la trichine, 488.—poids vivant obtenu pour une quantité donnée de foin, 485. —décomposition du poids vivant en viande de boucherie et abats divers, 485. — analyse chimique de sa chair, 486. — *Tasajo*, 487, 488.
Bois, transformation en coton-poudre, 827.
Boissons alcooliques, effets sur l'organ., 515.
Bojesmane, race humaine, développement du cerveau, 491.
Bombyx du mûrier. — Voy. Vers a soie.
Bonellie, 481. — appareil rénal, 74.
Bonnet, estomac des ruminants, 800.
Borneol, 651.
Botanique, rapports avec l'horticulture, 532.
Bothryllariés, 459.
Bouche, anatomie comparée chez les insectes et les crustacés, 734. — chez les oursins, 772, — les ophiures, 838, — chez les crinoïdes, 842, — les holothuries, 844.
Boue (volcans de), 793 à 798.
Bougies, 169.
Bouillon, matières premières, cuisine, préparation instantanée 487, 488.
Boulangerie, 513.
Bouleau, fixation d'azote, 68. — carbone contenu, 233.
Boulogne (bois de), consomm. d'eau, 111, 114.
Bourdons, 733.
Boussole, sa déviation dans les vaisseaux de fer, 353 à 357.
Bouture, 702.
Branchies *externes* et *internes* chez les oursins, 519, 520, 483, 772.
Brebis, carbone brûlé par la respiration, 376. — alcali de la salive parotidienne, 660. — nourrie avec de la viande, 614. — lait, composition, rendement en beurre, 431, 471.
Brésil (bois du), emploi en teinture, 371.
Brie (fromage de), 471.
Briques, matière première, 603.
Britannique (association), objet, budget, 745.
Britanniques (îles), dépôts coquilliers, affaissement avant la période actuelle, aspect des plaines et faune tertiaire, 473, 474.
Brochet, température intérieure, 413.
Brome, dans les eaux mères des marais salants, 396.
Bromoforme, action du cuivre, 654.
Bronchite, 85, 716. — *bronchite capillaire*, influence sur l'urine, 416.
Bronze, objets de ce métal provenant de l'industrie des premiers hommes, 623.
Bruant, chaleur qu'il peut supporter, 414.
Brunner (glandes de), leurs fonctions, 50.
Bruxelles (université de), 176.
Bryozoaires, 459. — *brachiopoda*, 461.
Budget de la France, son accroissement, 505.
Bunodes, genre d'actinies, 268.
Bupreste, 736.
Butyrine, 739. — comme aliment, 577.
Butyrique (ac.), dans le suc gastrique, 367. — excrétion, 613.

C

Cacao, cacaotier, culture, production, consommation, 256, 515. — *beurre de cacao*, 515.
Cadavérique (rigidité), — Voy. Rigidité cadavérique.
Cæcum, rôle dans la digestion, phénomènes qui s'y passent, 50, 51.
Café, caféine, comme aliment, 578. — consommation, 515. — excite la sécrétion gastrique, 803. — Cafier, culture, histoire, production, 515, 535, 536.
Caillette, un des quatre estomacs des ruminants, 801. — action catalytique, 63.
Caillot du sang, 368. — Voy. Sang.

Digitized by Google

Caïman, œsophage, estomac, 769.
Calabar (fève de), rapidité de l'action sur l'œil, 741.
Calcaire, 603. — *calcaire grossier*, étage géologique, emploi dans les constructions, 603. — animaux fossiles, 604.
Calcium (chlorure de), dans la salive, 661. — dans le suc gastrique, 803. Voy. Sel marin.
Calédonie (Nouvelle-), s'affaisse, 479.
Californie, volcans de boue, 795.
Calomel, 168.
Calorie, unité calorique, 194. — équivalent mécanique, 815. Voy. Chaleur, équivalent mécanique.
Calorifiques (équivalents). Voy. Équivalents.
Calorique, principe de la vie, 314.
Caméléon, 352.
Caméléon minéral, 162.
Caméliens, estomac, 801.
Campagnes, souffrances, causes, intérêt qu'on y porte dans les villes, 505, 506.
Campêche (bois de), emploi dans la teinture, 370, 372. — hématine, 652.
Camphre de Bornéo et du Japon, 652, 655.
Canard, 317. — température intérieure, 413. — influence des éclipses, 647.
Cancers, 594, 606, 609, 767. — vaisseaux lymphatiques, 608. — glandes lombaires, 609. — considérés comme organes éliminatoires, 609, 610. — dangers de l'extirpation, reproduction, 610. — transport de matières morbides, 608 à 611. — mode d'accroissement, 611. — *dégénérescence cancéreuse* dans l'anémie, 584.
Canne a sucre, 139; rendement en Égypte, 277.
Cannelle (essence de), 652.
Caoutchouc, 139, 652. — vulcanisation, 192. — porosité, 744. — ne se laisse pas traverser également par tous les gaz, 748. — perte d'azote de l'air qui le traverse, 689.
Capillaire (circulation), double voie circulatoire, influence du système nerveux, *tonus vascularis*, 24 à 26. — *vaisseaux capillaires*, constitution anatomique, deux variétés, influence du gr. sympathique, 711.
Capricorne, 735.
Caprine, comme aliment, 577.
Caprique, caproïque et caprylique (ac.), 739.
Caractères zoologiques (subordination des), 459, 460.
Carbonates alcalins, dans les éruptions volcaniques, d'où ils viennent, 728. — Voy. à la base de chaque carbonate: Soude, Potasse (carbonate de).
Carbone, ses divers états physiques, 290. — équivalent calorifique, 809, — dans les volcans de boue, 798. — dans les végétaux, 189, 274, 275. — rôle dans la végétation, 101, — assimilation par les végétaux, respiration des feuilles, 233 à 239. — dans le pain, 514. — dans les aliments, 578, 579. — combustion dans l'organisme activée par le travail, 631. — mode d'élimination, 577, 580, 581. — quantité dans la respiration des animaux, 376, 377, 380.
Carbone (hydrates de), rôle dans la production de la force musculaire, 690.
Carbone (oxyde de), dans l'air, 290. — emmagasinement de chaleur, 689. — au point de vue de la respiration des feuilles, 100. — effets sur divers animaux, 377. — act. sur le sang, empoisonnement, 12, 14.
Carbone (sulfure de), influence sur l'organisme, 585.
Carboné (hydrogène), dans l'air, 116, 117.
Carbonique (ac.), sa proportion dans l'air atmosphérique, 116, 117, 289. — sa transpiration capillaire dans le vide, et sa diffusion, 119. — son absorption par le charbon de bois, 120. — action sur les phénols, 655. — dans les éruptions volcaniques, 557. — dans les volcans de boue, 798. — décomposition par les végétaux, production par les animaux, 690. — quantité dans la luzerne, 98. — absorption par les végétaux, respiration des feuilles, il doit être dilué, 31, 32, 100, 263 et suiv., 276, 533. — action sur les animaux, 377. — quantité dans le sang, 5, 10, 368, 626. — production dans l'organisme, influence du travail, 630, 631. — exhalation par les muscles, 626. — dans la respiration, sang artériel et veineux, 376, 832, 833. — quantité exhalée par les animaux, 376, 413. — élimination du carbone, 580. — dans les plantes, 831.
Carbures d'hydrogène. Voy. Hydrogène (carbures).
Carburés (gaz), leur présence dans l'atmosphère, 2.
Carcassonne, approvisionnement d'eau, 114.
Carcinome, tumeur, 610 Carcinomatine, 594.
Cardia, son rétrécissement empêche l'alimentation, 584. — contraction rhythmique, 799.
Cardiogrades, 482. Voy. Méduses.
Carie, chez les animaux fossiles, 714. — *carie du blé*. Voy. Nielle.
Carnivores, rapport avec les herbivores aux époques géologiques, utilité, 77. — estomac, 771. — puissance digestive du suc gastrique, 805. — leur chair ne contient pas de graisse, 512.
Carpe, appareil digestif, 769. — rumination, 800. — analyse de sa chair comparée à celle du bœuf, 486.
Carré (appareil), production du froid, 396.
Carthame, carthamine, matière colorante rose, 370, 372.
Cartilages, quinoïdine animale, 739.
Caséine, 739, 831, 833. — alim. plastique, 613. — dans le lait et les végétaux, 431, 576. — dans la salive, 660.
Caséique (fermentation), 472.
Caséum, dans le fourrage, 469. — dans les végétaux, 189. — dans le lait, 471. — dans le fromage de Roquefort, 472.
Cassiopée, 480.
Cassitulides, 819, 820.
Castor, glandes parotides, 659. — glandes stomacales, 771.
Catalytiques (actions), leur explication, matières qui les produisent, rôle de l'ozone et de l'antozone, 62 à 67. — causes, 120.
Cataracte, action de la quinine, 740, 741.
Catoptriques (appareils), 418 et suiv.
Causalité, dans les sciences naturelles, 309.
Cellulaire (théorie), 315.
Cellulariés, 482.
Cellule, base des tissus végétaux et animaux, 244, 245, 306, 700. — siége de la vie, 307, 700 et suiv. — origine des êtres vivants, 306. — noyau et circulation vasculaire, 89. — soumise aux lois physico-chimiques, 307. — *cellules végétales*, 188. — *cellules nerveuses*, 490, 491.
Cellulose, 255, 256, 739. — dans les végétaux, 189, 190. — ne nourrit pas, 577. — transformation en coton-poudre, 827, 828.
Cercle agricole de Paris, 88.
Céréales, liberté du commerce, 273. — rendement, prix de revient, 274. — fumier, 274. — craie comme amendement, 603.
Cérébrale (fatigue), 658.
Cérébrales (facultés), leur localisation, 497.
Cérébraux (plis), chez l'homme et les primates, 390, 391.
Cérébrique (ac.), 657.
Cerf, 474. — nouvelle espèce, 417. — *fossile*, 605.
Cérithium hexagonum, coquille fossile du calcaire grossier, 604.
Céruse, 168.
Cerveau, 496. — anatomie comparée chez l'homme et les singes, 390. — différence de développement chez les races humaines, 391, 392. — fonctions, circonvolutions, 496. — rapport entre son poids et l'intelligence, phrénologie, 497. — rapports et réactions mutuelles avec le cœur, 497. — usure par la fatigue, 523. — graisse, 613. — quinoïdine animale, 739. — fluorescence sous l'infl. de la quinine, 740.
Cervelet, 496. — fonction coordinatrice des mouvements, 496.
Cervical (ganglion sympathique, *supérieur*, *moyen* et *inférieur*), rapports avec le pneumogastrique, 754, 755. — rapport du supérieur avec la gl. sous-maxillaire, 742.
Ceste, 480.
Cestodes, cestoïdes (vers), 426, 592.
Cétacés, n'ont pas de glandes salivaires, 658. — estomac, 772.
Chair de poule, causes, 710.
Chair, quantité contenue chez le bœuf et le porc, 405, 486. — analyse comparative de la chair de bœuf et de poisson (carpe), 486. — constitution physique, 486. — cuisson, 486. — bouillon, 487. — digestion, 806. — comme engrais, richesse en azote, équivalent, 134.
Chaleur, sa nature comparée à celle de la lumière et du son, 121 à 131. — double manière d'être: état latent, état libre, 154, 155. — transmission, 122. — états physiques des corps, changements d'états, 122, 123. — fusion du platine et du carbone, 122. — congélation de l'alcool, 123. — fabrication artificielle du diamant, 123. — hypothèse de l'émission de la lumière par Descartes, 123. — théorie des ondulations de Huyghens, 123, 124. — éther, 123. — phlogistique, 126. — rayonnement, réflexion, 127. — diverses espèces de chaleurs comme de couleurs, 127. — certains corps ne laissent passer qu'une couleur calorifique déterminée; alun et verre noir, 128. — interférences, polarisation, 128. — développement de chaleur par frottement, 128. — explication des trois états physiques, 128. — explication de la pénétration de la chaleur dans les corps, 129. — chaleur obscure et lumineuse, 129. — identité de la chaleur et de la lumière, 130. — chaleur, force véritable de tous nos moteurs, 130. — chaleur, source de force et de vie des êtres vivants, 130, 131. — influence sur la formation de la vie, 299. — théorie dynamique, équivalent mécanique, 193 à 200, 687, 809 à 815, 830 à 835. — perte des corps, ce que devient la chaleur perdue, 688, 689. — convertibilité en d'autres forces, 689. — moyen de la localiser, 689. — chaleur développée dans la pile galvanique, 811, 812. — chaleur développée par les courants induits, 813 à 815. — équivalent mécanique déterminée avec les moteurs électro-magnétiques, 815. — quantité nécessaire pour décom-

Digitized by Google

poser l'eau, 813. — chaleur rayonnante, 226 à 233. — réflexion et réfraction, 538, 539. — polarisation, double réfraction, 539. — radiations obscures, 540. — décomposition, 541. — rapport de son intensité avec celle de la lumière, 541 à 543. — raies du spectre, 542. — son absorption et celle de la lumière, 542, 543. — théorie des ondulations, 761.—chal. émise par le soleil, origine, 537, 830. — prod. par le soleil dans la lune, 747. — absorption dans le vide, 748. — chaleur centrale de la terre, augmentation de la température avec la profondeur, 250, 251, 406. — rôle dans les réactions chimiques, quantités dégagées, 387, 682. — mesure de la caloricité, 627, 628. — théorie dynamique dans les sciences biologiques, 615, 832. — absorption et conversion par les plantes, 615. — équivalence avec le travail dans les corps organisés, 616. — — sources de la chaleur dans l'organisme, 628. — production par les aliments, influence des actions chimiques, 577, 578. — chaleur produite par l'oxygène absorbé, 628, 629. — équivalent mécanique, vérification dans les phénomènes physiologiques, 629, 630 et suiv. — production de chaleur dans la contraction musculaire, 629, 630. — action sur les végétaux, 249, 250, 533, 690. — sur la respiration des feuilles, 235. — moyen qu'elle se maintienne constante toute seule, 533. — action de la chaleur obscure, 534. — limite supérieure pour les animaux, 548, 619. — act. sur le suc gastrique chez les animaux à sang chaud et à sang froid, 806.

Chaleur animale. Voy. Animale (chaleur).

Chamois, pouvoir musculaire, 690.

Chamonix, glacier des environs, 435 et suiv.

Charançon, insecte, 588, 591.

Charbon, couleurs qui en dérivent, 373 à 375. formation, 639. — dans la poudre, 826.— Voy. *Houille*.

Chat, 317. — physionomie, 393. — température intérieure, 413 — a des trichines, 488. — nerfs pneumogastrique et spinal, influence sur les mouvements de l'œsophage, 755, 757. — fluoresce ce de l'œil, 741. — influence des éclipses, 647.

Chataigneraies, assimilation d'azote, 100.

Chateau-Landon (pierre de), 603.

Chat-huant, température intérieure, 413.

Chaudières des machines à vapeur et des locomotives, 153.

Chaumont (buttes), leur formation, 602.

Chauve-souris, fossile, 605.

Chaux, action sur l'ac. anisique, 655.— dans les eaux potables, eaux séléniteuses, 109, 110. — dans les végétaux, 189. — dans la luzerne, 98. — action sur la végétation, 275, 276. — comme engrais, 508. — hydraulique, gisement, 603. —(carbonate) dans l'urine, 430. — dans la salive, 660. — (chlorure de), 163. — (oxalate de), composition et décomposition sous l'influence de la vie, 690. — (phosphate de), comme désinfectant pour les fosses d'aisance, 509. — action sur la végétation, 275, 276. — dans l'alimention, son absence amène la résorption des os, 514, 579. — dans le lait, 431. — dans la chair de bœuf et de poisson, 486. — dans le bouillon, 487. — dans l'organisme, 739. dans la salive, 660, 661. — dans le suc gastrique, 367, 803. dans le sang, 368.— dans l'urine, 415, 430. — (urate de), act. sur le développement des végétaux, 134.

Chéiroptères, estomac, 771.

Chéloniens, estomac, 769.

Chêne, dimension, longévité, 188. — fixation d'azote, 68.— carbone contenu, 233, variations, transmutation d'espèces, 695. — *Chêne-liége*, réussira en Australie, 535.

Chènevis, 256.

Chenilles, 588. — respiration, 732.

Cheval, 474, 475. — rapidité des mouvements respiratoires, au repos, au trot et au galop, 375. — carbone brûlé par la respiration, quantité d'air nécessaire, 376, 377. — température intérieure, 413. — glandes parotides, 659.—salive, propriétés, quantité sécrétée, 663, 664, 753. — salive, sécrétion permanente, 719. — action excitatrice du foin sur cette sécrétion, 720. — salives élémentaires, action sur les substances amylacées, 754.— nerf pneumogastrique, 755. — estomac, mouvements péristaltiques, 771, 799, 800. — glandes stomacales, 770. — vomissement impossible, 799. — nourri avec de la viande, 614. — composition de l'urine, 430. — développement de la vaccine primitive, 745. — *prix* dans l'Amérique du Sud, 488. — *cheval fossile*, 605.

Chèvre composition de son lait, 431.

Chèvre, constellation, mouv. propre, 667.

Chien, mangé comme animal de boucherie à Mexico, 512. — devenu omnivore, sa chair contient de la graisse, 512. — n'est pas infecté par la trichine, 488. — température intérieure, 413. — chaleur extrême qu'il peut supporter, 414. — effets de l'ac. carbonique et de l'oxyde de carbone, 377.— résurrection de la tête après la décapitation, 522. — salive, sécrétion permanente, propriétés, quantité, 493, 663, 719. — mécanisme de la sécrétion, 720 et suiv. — glandes parotides, alcali de leur salive, 659, 660. — salives élémentaires, action sur les substances amylacées, 654. — déglutition, rôle du nerf hypoglosse, 719, 754. — action du nerf pneumogastrique sur l'œsophage, 755, 756, 757. — estomac, mouvements péristaltiques, 770, 771, 799.— fistule gastrique, 802.—suc gastrique, analyse, quantité, puissance digestive, 366, 803 à 805. — action stimulante du sel sur le mouvement nutritif, 579.—nourri avec du pain, 614. — effets de la nourriture par la gélatine, 578. — ne peut se nourrir seulement avec de la fibrine, 583. — œil, fluorescence, 741. — influence des éclipses, 647. — *Chien d'arrêt*, 498. — *Chienne*, composition du lait, 431.

Chili, le littoral s'élève, 405, 478.

Chimie, importance pour la médecine, 748.

Chimique (affinité). Voy. Affinité chimique.— (combinaison). Voy. Combinaison chimique.

Chimiques (rayons), réflexion et réfraction, 538. — décomposition, 541, 542. — peu d'action sur la coloration des végétaux, 534.—variations d'intensité dans l'atmosphère, lum. directe et diffuse, 815 à 819.

Chironomus plumosus (insecte), 808.

Chlamys, insecte, 588.

Chloeon, insecte. Voy. Éphémère.

Chloracétène, action sur le benzoate de baryum, 655.

Chlore, 832.—découverte par Scheele, propriétés, action sur les métaux, sur les matières organiques, ses applications dans l'industrie, 162 à 164. — action sur le benzoène, 654. — sur l'amyline, 749. — moyens pour lui substituer l'hydrogène, 655. — dans les éruptions volcaniques, 798. — dans la luzerne, 98.

Chlorhydrique (ac.),832.—act. sur l'aldéhyde et l'essence d'am. amères, 655. — sur l'acétate de potasse, 654. — dans les éruptions volcaniques, 557, 728. — dissout la syntonine, 625. — dans le suc gastrique, source de son acidité, 367, 803, 804.

Chloroforme, action du cuivre, 653. — (machines à), 154, 155.

Chlorophylle dans le thé, 515.

Chlorose, 82, 84, 514.

Chlorures dans l'alimentation, 615. Voy. au nom de la base de chaque chlorure : sodium, potassium, etc. (chlorures de).

Choeropotame, porc fossile, 605.

Choléique et Cholique (ac.), 613, 838.

Choléra, 84, 385, 766.—à Paris en 1832, 1849, 1853-54 et 1865; son histoire, courbes représentant sa marche, 15, 16. — mode de propagation, 17. — production artificielle chez les animaux, 17. — rôle de l'ozone, 293. — influence sur la température intérieure, 415,

Cholestérine, 739.

Chou (piéride du), ins. développement, 734.

Choux, 103.

Chromates. Voy. au nom de la base : Plomb, (chromate de), etc.

Chrome, dans le soleil et divers astres, 404.

Chrysalide, 588.

Chyle, 352.

Chylifères (vaisseaux), 772.

Chyme, 352.

Cidaris, oursin, 483, 484. — *Cidarides*, 819.

Ciel, causes de sa couleur bleue, 816.

Ciment romain, gisement, 603.

Cimento (*Academia del*), à Florence, 727.

Cinchonas, arbres à quinquina, 535.

Cinnamique (acide, alcool, aldéhyde), 651, 652. — mode de génération, 655.

Circulation du sang, 375, 525. — dans le cœur, les artères, les capillaires et les veines, 20 à 28. — passage du sang d'un système à l'autre, 19, 20. — action de la chaleur, 616. — du grand sympathique, 742. — effets de la dégénérescence des nerfs sympathique et pneumogastrique, 658. — modifications dans les ascensions des montagnes et en ballon, 137, 138. — chez les crustacés, 786. — les insectes, 786. — les oursins, 772, 773. — les ophiures, 839. — les crinoïdes, 842. — les holothuries, 844. — Circulation de la *lymphe*, 28, 29, 525. — Voy. Lymphe. — Chez les végétaux, voy. Sève. — Voy. Sang, Artères, Veines. — (appareil de la) chez les oursins, 520. — chez les astéries, 823.

Cire dans le thé, 515.

Cirrhodermaires. Voy. Échinodermes.

Citrique (ac.), isolé par Scheele, 167, 168.

Classifications, 733, 734. —*zoologiques*, 818, 819, 458 et suiv., 821 à 823 (oursins), 824 (astéries). — *botaniques*, utilité, 536.

Claviger, rapports avec les fourmis, 264.

Climats, 249 à 252.—classification, 201.

Clusiacés, vaisseaux propres, 745, 761.

Clypéastre, 480, 484, 837. — *Clypéastroïdes*, 819, 820, 821.

Cochenille ammoniacale comme matière colorante, 272.

Cochon d'Inde, durée du passage de la quinine dans l'organisme, 738. — quinoïde animale, proportions dans chaque organe, 739. — fluorescence des différents

Digitized by Google

tissus sous l'influence de la quinine, 740.
Cocos butyracea, arbre à vin, 139.
Cœnures, parasites, 592.
Cœur, 22, 23, 375.—constitution histologique, 710. — dualité primitive, 761. — caractères de la systole, secousse musculaire induite par cette systole, 567, 568. —battements, effets de la dégénérescence des nerfs sympathique et pneumogastrique, 658. — centre des nerfs qui agissent sur lui, 495.—rapports et actions réciproques avec le cerveau, 497. — travail produit, 834. — chez les *insectes*, 736. — les *oursins*, 773.— le bœuf, poids (*boucherie*), 485.
Coléoptères, 731. — métamorphoses, 735.
Colimaçons fossiles, 604.
Collections entomologiques, 736, 737.
Collége de France, cours, 72, 336.
Collidine, 653.
Colore, estomac, 771.
Colorantes (matières), qualités qu'elles doivent réunir, 369 et suiv.
Coloration des végétaux, 533. — influence des divers rayons solaires, 534.
Colostrum, lait de vache au moment du part, composition, 431.
Colpodes, réviviscence, 546.
Colza, 256. — produits obtenus avec les azotates et les sels ammoniacaux (nitrates de potasse et de soude, sel ammoniac), 132. — culture de colza avec différentes doses d'azotate de potasse, 132. — culture dans l'air pur et l'air ammoniacal, azote contenu, 131, 132.
Comatules, 470, 485, 841, 842.
Combinaison chimique, développement de chaleur qui l'accompagne, 809 et suiv.
Combustion, développement de chaleur, lois, 809. — des aliments dans l'organisme, 577. — des tissus par la respiration, 613. Voy. Respiratoire (combustion).
Comètes, 209 à 220. — phénomène naturel, 308. — leur aspect, 209, 210.— opinions des anciens, 210, 211. — lois de leurs mouvements, 211 à 213. — périodicité, 214. — constitution intime; histoire de diverses comètes, 214 à 218. — origine, rôle, influence des comètes, 218 à 220. — densité, 402. — ralentissement du mouvement de translation par la résistance de l'éther, 651.—spectre de leur lumière, 685.
Commerce (liberté du), influence sur le prix des céréales, importance pour l'agriculture, 273, 506.
Concaves (miroirs), formation des images, 419 à 422.
Condensation des gaz par les corps poreux, 120. — électrique, 339.
Condenseur dans les machines à vapeur, 147.
Condrogrades, 482. Voy. Vélelles
Conscience ou sens intime, ce que c'est pour le naturaliste, 703, 704.
Constipation rebelle, source d'anémie, 584.
Continuité dans la nature, 684 à 696. — universalité des lois de la gravitation, 684. étoiles filantes ou météores, 684. — petites planètes et planètes intramercurielles, 684, 685. — spectre des étoiles, 685, 686. théorie dynamique de la chaleur, 687 et suiv. — éther remplissant l'espace, 688. conversion des forces, 689. — continuité en géologie, 691. — générations spontanées, 692. — origine et transformation des espèces, 692 à 695.— continuité dans l'histoire, 695.
Contractilité, propriété de certains tissus, 207.—des fibres-cellules musculaires, 710.
Contraction musculaire, 207, 208, 549 à 552. — ses caractères dans les muscles de la vie organique et dans ceux de la vie animale, 710. — différences d'intensité, 552. — constituée par la réunion de plusieurs secousses, sa forme, 408 à 412. — influence de la fatigue, 412. — limites de fréquence des excitations électriques qui la provoquent, 566, 567.—variétés de cette contraction dans les différents muscles et chez divers animaux, 567, 568. —systole du cœur, 567. — secousse musculaire induite par cette systole, 568. —contraction induite et paradoxale, 333, 334, 567. — travail accompli, carbone brûlé, respiration musculaire, 834, 835,
Convergent (ménisque), 529 à 532.
Convexes (miroirs), formation des images, 422 à 425.
Convulsions par action réflexe chez les enfants infectés de vers intestinaux, 494. — ou lorsque leurs dents poussent, 494. — effets sur la réaction alcaline des muscles, 626.
Coquillages, accroissement, 731.
Coquilles fossiles, 601, 604, 623. — sur les montagnes des îles Britanniques et de la Scandinavie, 473. — *Collections* du Muséum d'histoire naturelle de Paris, 382.
Corail, 270, 271, 303. — *Coralliaires, Corallines*, 482. — *Iles à coraux*, 478, 479.
Corbeilles, mollusques acéphales, 379, 380.
Cordilières, températures moyennes, 175.
Corethra plumicornis, suc gastrique, 803, 804.
Coronales (plaques) chez l'oursin, 547.
Corps (états physiques, propriétés, etc.) Voy. les mots indiquant le point de vue sous le quel ils sont considérés.
Corrélation des formes, moyen de reconstituer les animaux perdus, 75, 76.
Coryphodon, quadrupède fossile, 604.
Coryza, 82.
Coton, sa culture en Égypte, 284.—teinture, action épurante sur les matière colorantes, 370. *Coton-poudre*, 255, 827 à 829.
Couleurs, leur analogie avec les sons, 125, 126, 228.—nombre de vibrations, gamme de couleurs, 126.—certains corps ne laissent passer que certaines couleurs, 127. — l'exiguïté de la gamme lumineuse tient à la constitution de l'œil, 129. Voy. Lumière. — son changement par augmentation de la vitesse des vibrations avec la distance du corps lumineux, application au calcul du mouvement des étoiles, 671.
Couleurs des corps, causes, 819. — diversité des vues, 373.—altération sous l'influence des lumières artificielles, 121, 220 à 224.
Couleuvre, estomac 769.
Couperose verte. Voy. Fer (sulfate de).
Courants électriques. Voy Électriques (courants).
Courants marins, 106, 107.
Cousin, insecte, où il dépose ses œufs, 591.
Crabe, 587. — développement, 735.
Craie, amendement du sol, 603.—Étage géologique, animaux fossiles, 603, 604.
Crane humain, formes extrêmes, tartare, australien, 751.
Craniologie, 751.
Crapaud, température intérieure, 413.
Créatine, créatinine, 613, 656, 833.—dans les muscles, 486, 626. — dans l'urine, 626. — dans le sang, 4, 8, 626. — formation dans l'organisme, 576, 577.—transform. de la créatine en urée et créatinine, 626.
Créations géologiques, 749.
Crédit agricole, 282 à 284.
Crème, 431.
Crésisol, 652.
Crésotique (acide et phénol), 652.
Cresson, gain d'azote dans la végétation, 95. — action catalytique de la semence, 63.
Crimée, volcans de boue, gisements de pétrole, 793 à 798.
Crinoïdes, 484, 485, 516, 821 841 à 843. — place dans le règne animal, 459, 460.
Cristal, manque d'individualité, 699.— formation, distinction des êtres organisés, 758. — Propriétés optiques, 369. — cristaux à un et à deux *axes*, 100.
Crocodiles fossiles, 605.
Cromer (Anglet.), forêt sous-mar., 474, 475.
Croup, 84.
Crustacés, 587, 727, 733. — anatomie comparée de la bouche, 734. — développement, métamorphoses, 735. — système nerveux et circulation, 736.—collections, 736, 737. — appareil digestif, 772.
Cténocères, 482.
Cuir de bœuf, prix dans l'Amérique, 488.
Cuirassés (vaisseaux), déviation de la boussole, 353 à 357.
Cuisine. Voy. Bouillon, Chair, Bœuf, Poissons, Légumes, Pois, Pommes de terre, Haricot, Beurre, Fromage, Carpe, Vache, Veau, Oiseaux, Poule, Poulet, Canard, Rôti, Tasajo, etc.
Cuivre, action sur le chloroforme et le bromoforme, 654. —équivalent calorifique, 809.—*Sels de cuivre*, dans la teinture, 370.
Cultures, leur assimilation d'azote, 100. — avantage de leur variété dans un pays, 788.
Cumin (essence de), 652. — *Cuminide, Cuminammine*, 653.—*Ac.* et *alcool cuminique*, 651, 652, 653. — *Ac. cuminurique*, 653. — *Cummène*, 651. — *Culomène*, 652.
Curare, origine, effets physiologiques, emploi thérapeutique, 140. — action sur la glande sous-maxillaire, 753. — sur les nerfs spinal et pneumogastrique, mouvements de l'œsophage, 757. — sur l'organe électrique de la torpille, 725. —sur les animalcules réviviscents, 549.—contre le tétanos, 86.
Curcuma, emploi dans la teinture, 372.
Cutanée (respiration et exhalation), 377, 413, 580, 581.
Cyaniques (éthers), 696.
Cyanogène, ses dérivés, 696. —(chlorure de) 696.
Cyclostomes (poissons), appareil digestif, 768.
Cygne, 317.
Cymène, 651, 652, 653.—act. de l'ac. azotique, acide toluique, 655. — *Cymidine*, 653.
Cynips, insecte, 588.
Cypræa elegans, fossile (calcaire grossier), 604.
Cyprès, 108.
Cyprins, rumination, 800.
Cysticerques (parasites), 592, 595. — larve, 462. — digestion, 524.
Cystiques (tumeurs), 592.

D

Daim, 474.
Danemark, s'affaisse continuellement, 405.
Dasmia, 270.
Davis (détroit de), affaissem. de sa zone, 478.
Déboisement, influence sur l'humidité de l'air et le débit des cours d'eaux, 254.
Débouchés pour les denrées agricoles, 506.
Dégénérescence graisseuse des tissus, 578.
Déglutition, rôle de la salive, 659, 661, 753.

Digitized by Google

rôle du système nerveux, 754 à 758. — excite la sécrétion de la salive sublinguale, 719. — *Déglutition forcée*, 494.
Déjections animales engrais, 507, 508.
Delirium tremens, résulte souvent de l'abus des liqueurs alcooliques, 515.
Dendrophyllie, 268.
Densités de vapeurs, 521.
Dents, leur naissance provoque des convulsions chez les enfants, 494. — fossiles, 624. — des oursins, 517.
Désinfectants, pour les fosses d'aisance, 508.
Détente dans les machines à vapeur, 148.
Dextrine, 256, 613. — dans les végétaux, 189. — dans le blé, 513. — comme aliment, 351
Dhuis (eau de la), à Paris, 109, 113, 114.
Diabète, 83, 495, 664. — composition de l'urine, 416.
Dialyse, 247.
Diamant, 699.
Dianiline, 653.
Diastase, action catalytique, 62. — *Diastase salivaire*. Voy. Ptyaline.
Diatomacées (végétaux), réviviscence 546.
Dichotomique (méthode), 303, 304.
Diète, ses effets, 583.
Différentielles (équations) du 1er degré, leur intégrabilité, 387.
Diffraction, 196.
Diffusimomètre de Graham, 118,
Digestion, 42, 43 à 51, 366 à 368. — but et caractères, 521 à 525. — phénomènes chimiques, 351, 352. — très-difficile dans l'inanition, 583. — modifications dans les ascensions de montagne et en ballon, 137, 138.—*Salive*, diverses espèces, fonctions, sécrétion, influence du système nerveux, 44, 45. Voy. Salive. — Digestion *stomacale*, suc gastrique, 45, 46, 731, 799 à 808. — pourquoi l'estomac ne se digère pas lui-même, 501. — *Bile*, 46 à 48. — *Pancréas*, suc pancréatique, 48, 49. — Liquide *intestinal*, 50, 51. — chez les *zoophytes* (oursins), 772. — *Digestion artificielle*, 804. — (*appareil de la*) chez les oursins, 517, 518, 519, 772, 775. — les astéries, 823. — les ophiures, 838. — les crinoïdes, 842. — les holothuries, 843.
Dijon approvisionnement d'eau, 114.
Diluvium, 603. — animaux fossiles, 605.
Dimorphisme, deux sortes distinctes chez les végétaux et les animaux, 590, 591.
Dindon, action du grand sympathique sur les vaisseaux des caroncules, 710.
Dinothérium, 76, 78, 605.
Dioxybenzoïque (acide), 652.
Dioxysalicylique (acide), 653.
Diphthérie, 767.
Diphyes, 482.
Disettes, influence sur la mortalité et la santé publique, 781 à 784. — leurs causes, 787.— moyens de les prévenir et d'y remédier, 787 à 790.
Dissociation, 521.
Distribution dans les machines à vapeur, 150.
Divergent (ménisque), 564 à 566, 596, 597.
Dodo, oiseau des îles Mascareignes, 751.
Domite, dans les montagnes d'Auvergne, 180.
Donati (comète de), 217, 218.
Dorure galvanique, 395.
Double effet dans les machines à vapeur, 150.
Doubles (étoiles), mouvements, 670, 684.
Dragonnier d'Orotava, 189.
Drainage, 750, 788.
Dualistique (théorie) en chimie, 696.
Dunes des landes, leur fixation par des plantations de pins, 397.
Dynamique animale, 170.
Dyspeptone, 805.

E

Eau, 739.—son importance dans l'industrie, 105. — dans les progrès de la chimie, 105. — ses trois états physiques, glace, 105, 398.—température d'ébullition, 487. —chaleur nécessaire à sa décomposition, pourquoi jamais décomposée par un seul élément de pile, 812. — spectre lumineux, 749. — vitesse de la lumière, 545, 650. — dans les volcans de boue, 797, 798. — rôle dans la formation de la terre, 401. — absorption lente par les roches, finira par disparaître de la terre, 407, 408. — rôle dans la nature, 105 à 110.— quantité dans l'organisme, nécessaire aux manifestations vitales, 105, 546.—décomposition par les végétaux, product. par les animaux, 690, 832.—dans les végétaux, 189, 831. — dans le blé, 513. — assimilation par les végétaux, 239. — rôle dans la respiration des feuilles, 100.— quantité évaporée par les plantes, 103. — ascension dans les tubes capillaires et dans les plantes, 103. — force développée par sa congélation, effets de cette force sur les liquides contenus dans les plantes, les tuyaux de conduite et les pierres gélives, 105, 106.—maximum de densité, effet salutaire pour les cours d'eaux, 106. — capacité calorifique, 106. — courants marins, influence sur les climats, 106, 107.— circulation de l'eau dans la nature, 107, 108. — distillation, 108. — air contenu dans l'eau, 108. — dans l'alimentation, 613, 615. — Dans la chair de bœuf et de poisson, 486.—dans le suc gastrique, 803. —comment elle s'élimine, 4, 413.—Voy. *Eaux potables*, 109. — *aménagement* des eaux au point de vue de l'agriculture, 787. *Volcans* d'eau, 798. V. Paris, Seine, Source, Rivière, Arcueil, Dhuis, etc.
Eau forte. — Voy. Azotique (acide).
Eau oxygénée, 291, 292. — décomposition en présence du platine, explication, rôle de l'ozone et de l'antozone, 62.
Eau (vapeur d'), décomp. par le chlorure de sodium à une temp. élevée, 728. — spectre lumineux, raies, 228, 633. —dans l'air, 116, 117, 252 à 254, 290.—dans une éruption volcanique, 557.
Ebullition, 142. — températures diverses pour l'eau, 487.
Échassiers, estomac, 769.
Échidné, pas de glande parotide, 659.
Échinides, 480, 482 et suiv., 485, 516.—classification, 819 à 821. — Voy. Oursins.
Échinocoques, parasites, 592.
Échinodermes, 457 à 462, collection du Muséum d'histoire naturelle, 382.—organisation générale, classification, 480 à 485.— digestion, circulation, 772. — V. Oursins.
Échinoïdes. Voy. Cidarides.
Échinus lividus, système nerveux, 773. — développement de l'embryon, 775.
Éclair, 344. Voy. Foudre, Electricité.
Éclipses de soleil, 634 à 648. — opinions qu'on s'en fait chez les différents peuples, 634, 635. — travaux et opinions des savants de l'antiquité, 635, 636.— savants modernes, 636, 637. — explication des éclipses, 638 à 642. — description d'une éclipse totale de soleil, 642 à 648. — abaissement de la température, effets sur les plantes et les animaux, 646 à 648. — effets produits sur les divers hommes, 647, 648. —permettent d'établir le ralentissement du mouvement de rotation de la terre, 329, 330. — Voy. Soleil, Lune.
Écliptique, 638, 640.—variation d'obliquité, 666.
Ecorce terrestre. Voy. Terrestre (écorce).
Ecrevisse, 587. — développement, 735. — caractère et durée de la contraction musculaire, 568.—acid. du suc gastrique, 803.
Écureuil fossile, 605.
Edam (fromage d'), 471.
Édentés, estomac, 771.
Édimbourg, température, 202.
Éducation, nécessité d'y introduire les sciences de bonne heure, 683. — *médicale*, perfectionnement à y introduire, 748.
Égouts, on devrait en recueillir les eaux pour l'agriculture, 508. — *Egouts de Paris*. Voy. Paris.
Égypte, inondations du Nil, 752. — précautions contre les famines, 778. — transformation par la culture du coton, 284.
Élaïne, 657.
Électricité, 394, 687, 688. — moyen de la multiplier, 689. — écoulement continu par la machine de Holz, 690. — action sur les végétaux, 533, 534. — principes de la vie, 314, 315. — cause prétendue de l'innervation, 490. — rôle dans les phénomènes nerveux et musculaires, 331 à 336. — Voy. Foudre, Pile, etc.
Électrique (lumière), 395, 537, 810, 811.
Électriques (courants), 316, 350. — act. sur les aimants, 395. — échauff. des fils métalliques et des liquides traversés, 811. — aimantation du fer doux, 812, 813.—*Courants terrestres*, 748. — Voy. Induction.
Électriques (poissons), 722 à 727.
Électro-aimant, 812, 813, 835 — peut multiplier la force électrique, 689.
Électro-chimie, 811.
Electro magnétiques (moteurs), 812, 813. — plus coûteux que les machines à vapeur, 813. — vérification de la théorie dynamique de la chaleur, 813.
Électro-métallurgie, 395.
Electro-motrices (forces), 810, 811.
Électrothérapie, 342, 343.
Éléments chimiques, leurs variations états allotropiques, 65, 66.
Éléments histologiques. Voy. Histologiques
Éléphants, 78, 473, 475. — *fossiles*, 605.
Élimination, sous quelle forme elle se produit pour l'azote, le carbone, l'hydrogène, le sucre, les substances amylacées ou grasses, 577.
Embolie, caillots sanguins dans les veines, 85.
Embonpoint, moyen de le produire, 616.
Embryogénie, services qu'elle rend dans les études zoologiques, 267 et suiv. — embryogénie des oursins, 775, 776.
Embryon, rôle des vaisseaux dans son développement, 593. — évolution chez les oursins, 775, 776. — chez les araignées et les insectes, 734, 735. — chez les crustacés, les mollusques et les vertébrés, 735. — identité primitive, différentiation postérieure, 735.
Émeraudes artificielles, 394.
Émétique, excite la sécrétion gastrique, 803.
Émission de la lum., théorie de Descartes, 123.
Emphysème pulmonaire, infl. sur l'urine, 416.
Emulsine, action catalytique, 62, 65.—action sur l'amygdaline dans l'organisme, 807.
Emulsion des graisses, 367.

Digitized by Google

Encéphale, 492, 525.
Enchondrome, tumeurs, 611.
Encke (comète d'), 215, 216,
Encrine, 466, 480, 481, 482, 841 à 843. — *Encriniens*, 482. — *Encrinites*, 485.
Endiguement, 740.
Endosmose et exosmose, 245 à 247.—ascension des liquides dans les végétaux, 103.
Enfants, convulsions provoquées par des vers intest ou la naissance des dents, 494.
Engrais, 507. — richesse en azote et équivalents de divers engrais, 134. — prix de transport, droits d'importation, 788.—*Engrais chimiques*, leur efficacité, 280, 281, 509. — Voy. Azote.
Enkystés (tumeurs), 592.
Enregistreurs (appareils), 174, 203 à 206.
Entomologie, histoire de ses progrès, 729 à 737.
Entomostracé, 482.
Entozoaires. Voy. Helminthes.
Entrailles, poids chez le bœuf au point de vue de la boucherie, 485.
Éolypile de Héron d'Alexandrie, 143, 144.
Éozoon, le plus ancien être vivant, théorie de la transmutation des espèces, 694.
Épeire diadème, araignée, 587.
Éphémères, insectes, leurs métamorphoses, 589, 590.
Épidémie, 714, 715.
Épinière (moelle). Voy. Moelle épinière.
Épizooties, 714.
Éponges, zoophytes, 381.
Équateur, température moyenne, 175.
Équations différentielles du premier degré, intégrabilité, 387.
Équinoxes (précession des), 666, 668.
Équivalents calorifiques, 809 et suiv.
Erratiques (blocs), 476.
Érysipèle, 611, 766, 767.
Escargot, acidité du suc gastrique, 803.
Eschare, 482.
Esclaves, nourr. dans l'Amérique du Sud, 514.
Espace, immensité, 480.— rempli d'un médium matériel (éther), 649 à 651.
Espèces, définition, origine, indécision des limites, intermédaires aux époques géologiques, transformations, 79, 80, 311, 316 à 319, 401, 427, 691 à 695.
Esquimaux, instruments de pierre, 751.
Essences, 651, 652.
Estomac, 352. — conformation et structure dans la série des vertébrés, 768 à 772. — chez l'oursin, 775. — l'ophiure, 838. — dans la digestion, 45, 46. — pourquoi il ne se digère pas lui-même, 808. — mouvements péristaltiques, 799, 800.—fibres-cellules, caractères de leur contraction, 710. — inflammation par abus de nourriture, 82. — cancer, 612. — action catalytique de la caillette, 63.
Esturgeon, appareil digestif, 769.
Étain (bichlorure d'), réact sur l'aniline, 374.
États physiques des corps, leurs rapports avec la chaleur; changements d'états, 122, 123. explication des états physiques dans la théorie ondulatoire, 128.
Été, maladies régnantes, peste, inflammation des intestins, etc., 716.
Éternument, mécanisme, 494.
Éther, remplissant l'espace, 123, 402, 227, 649 à 651, 688. — sert à la transmission de la lumière et de la chaleur, 227, 228, 649, 650. — ralentit le mouvement des comètes, 216, 651. — sa résistance au mouvement peut se transformer en chaleur, 651.
Éther, action des alcalis, 654. — synthèse, 748. — action sur la fluorescence de la quinine et de la quinoïde animale, 738. — (machines à), 154, 155.
Éthers cyaniques, 696.
Etna, 728, 794. — matières projetées dans les éruptions volcaniques, 557.
Étoiles, idée qu'on s'en faisait autrefois, 684. — mouvements propres, 665 à 671. grandeur et parallaxe, rapport avec les mouvements propres, 667. — mouvement propre du soleil, 668, 669. — lois de Képler appliquées aux étoiles, 669, 670. — une planète de Sirius, ses phases, 670. — spectre lumineux, déplacement des raies, 671.— *Etoiles doubles*, leurs mouvements, lois de la gravitation, 670, 684. — *Etoiles variables, périodiques, nouvelles*, 617 à 620, 686, 746, 747. — *Etoiles filantes*. Voy. Filantes (étoiles).
Étoiles de mer. Voy. Astéries.
Etres, développement, échelle, 735.
Europe, exhaussement et affaissement du sol avant l'époque actuelle, 474, 475 et suiv. matières alimentaires, 513.
Euryaliens, 840.
Exhalants (vaisseaux), 245.
Exhalation cutanée. Voy. Cutanée.
Exanthème, 715.
Excréments (engrais), azote, équivalent, 134.
Exostoses, tumeurs des os, 607, 608.
Exploitation (capital d'), en agriculture, 507.

F

Facial (nerf), anastomoses avec le pneumogastrique, influence sur les mouvements de l'œsophage dans la déglutition, 754.
Faïences, fabrication, 603.
Faisan, composition de l'urine, 430.
Falaises, souvent rongées par la mer, 405.
Famines, 583, 584, 781.
Farine, rendement en pain, 513.
Fatigue *musculaire*, sa cause, 626, 627. — ses effets sur la constitution du muscle, 522, 523, — altère les globules du sang, produit l'anémie, la morve, etc., 625 et suiv. — Fatigue *nerveuse*, usure des nerfs, du cerveau et de la moelle, 523.—Fatigue *cérébrale*, 658.
Faucon, estomac, couche musculaire, 770.
Fécondation, 300. — chez les *oursins*, 775.— *artificielle*, 775.—Voy. Génération, Reproduction.
Fécule, 255.—comme aliment, 351.—transformation en graisse, 613.
Femme, analyse du suc gastrique, quantité, 367, 803.—lait, 431.—développement pendant l'allaitement, 514.—sang moins riche en globules que celui de l'homme, 368.
Fer, tempér. de fusion, 250.— équiv. calorifique, 809.— existe dans le soleil et divers astres, 404. — *aimantation* par les courants électriques, 812. — quantité dans le sang des animaux supérieurs, 368.— rôle dans l'alimentation, emploi contre la chlorose et l'anémie, 514. — élimination exceptionnelle par la salive, 664. — Voy. Fonte, Acier. — (*Chlorure* de), dans les éruptions volcaniques, 557. — action sur l'acide sulfhydrique, 819. — (*Oxyde* de) dans les volcans de boue, 795, 798. — dans la luzerne, 98.— (*Phosphate* de) dans le suc gastrique, 803.—(*Sulfate* de), emploi dans la teinture, 370. — réaction sur la nitrobenzine, 374. — (*Vaisseaux* de), déviation de la boussole, 353 à 357.
Fermentation, 806. — du pain, 513. — *caséique*, 472.
Ferments, explic. de leur act. catalytique, 65 à 67.— act. sur l'amidon et le sucre, 613.
Fermiers, situation, clause de renvoi (en Angleterre), 507.
Fertilisation du sol, 508.
Feuilles des végétaux, *respiration*, absorption et décomposition d'acide carbonique, influence de la lumière, nécessité du mélange des gaz, 30 à 32, 100, 101, 234 à 238, 276, 533, 831.—surface par hectare de diverses cultures, 101. — *transpiration*, 103. —*direction*, influence du soleil, 533. *coloration*, influence des divers rayons solaires, 534. — absorbent les rayons chimiques, 832.
Feuillet, estomac des ruminants, 801.
Fèves, Féveroles, végétation, rendement, gain d'azote, 96, 99.
Fibres-cellules des muscles, 710.— contractilité, 710. — rôle dans la *chair de poule*, le *facies hippocratique*, la coloration du visage, etc., 710, 711.
Fibrine, 833. — coagulation et diverses formes, 6. — comme aliment, alim. plastique, ne suffit pas seule, 351, 578, 583, 613. — ne peut se préparer artificiellement, 613. — action catalytique, 63. — dans les végétaux, 189. — dans la chair de bœuf et de poisson, cuisson, 486. — transformation en peptone dans l'estomac, 805. — dans le sang, 5, 63, 368. — peut se transformer en sucre dans le foie, 578. — modification dans l'inanition, 582.
Fidji (îles), formation, durée, 479.
Fièvre, 82. — cause, 740. — explication de sa guérison par la quinine, 740. — *Fièvre typhoïde*, 83.
Filaire de Médine, réviviscence, 546.
Filantes (étoiles), 747.—pluie en 1865-1866, 790 à 792.—époques de fréquence, 684.— direction, 684. — nature, origine cosmique, 684, 790 à 792.—composition chimique, 685.
Fille, carbone brûlé par la respiration, 376.
Finlande, sera un jour réunie à la Suède, 477.
Fiords de la Scandinavie, 477.
Firn, nom allemand du *Nevé*. Voy. ce mot.
Fistulides, 480. Voy. Échinodermes.
Fleurs, influence des éclipses, 646.
Floraison du blé, influence de la température à laquelle elle se fait sur le résultat de la récolte, 510.
Florilol, 651, 652.
Fluides, théorie des fluides en physique comparés aux dieux mythologiques, 123.
Fluorescences, 545, 737 et suiv. — fluorescence de la quinine et de la quinoïde animale, 738, 740. — fluorescence des divers tissus animaux, 739, 740.—fluorescence des diverses parties de l'œil, nature de la lumière, 741.
Fluorhydrique (ac), découv. par Scheele, 165.
Foeroe (îles), température, 202.
Foie, deux glandes, l'une à sécrétion interne, l'autre à excrétion, 46, 47. — organe hématopoïétique, sa fonction glycogénique, 55, 56, 495. — son extirpation diminue l'exhalation d'acide carbonique, 577. — proportion de quinoïdine animale, 739.— fluorescence sous l'influence de la quinine, 740. — propagation du cancer dans ses tissus, 609.—foie de bœuf, poids, 485.
Foin, quantité de lait qu'il peut fournir, 469. — influence sur l'engraissement et la quantité de lait produit par la va-

— La fin en supplément très-prochainement. —

Digitized by Google

che, 470.—rendement en poids de bétail vivant et en viande de boucherie, 485. — *sec*, excite la sécrétion de la salive chez le cheval, 720.
Folie, résulte souvent d'abus des boissons alcooliques, 515.—*Folie raisonnante*, 761.
Fongus médullaire, tumeurs, 606.
Fonte, nature chimique, 749. — température de fusion, profondeur où elle est fondue, 250.
Foraminifères, 694. — *fossiles*, 777. —form. de la couche de calcaire grossier, 603.
Forces, corrélation et convertibilité les unes dans les autres, 687 et suiv. — dans les sciences naturelles, 310. — origine et transformation dans l'organisme, 627. — mesure du travail, 627, 628.— Forces *vives*, conservation, 194, 835. — Forces *électromotrices*. Voy. Électromotrices (forces).
Forêts, leur assimilation d'azote, 100.
Formicines, tribu de fourmis, 257.
Formique (acide), 739.
Fossiles, (animaux, os, coquilles), 777.— se distinguent des animaux actuels, 601 et suiv. — diverses espèces, 605, 606.. — traces de maladies, tumeurs, ankyloses, scrofules, nécroses, 713, 714.
Foudre, 337 à 346. Voy. Électricité.
Fougères, mode de reproduction, 461, 462.
Fourmilier, glande salivaire parotide, 659. — rôle particulier de la salive, 753.
Fourmis, 588. — classification, constitution, instincts, mœurs, animaux domestiques, ennemis, 257 à 265, 498, 592, 733. — mâles, femelles, ouvrières, 258. — fontelles des provisions? 258, 259.—langage, 260. — formation de nouvelles colonies, 260. —fourmis sanguines, 261.—fourmis amazones, esclaves, expéditions guerrières, 261, 262.
Foyers des lentilles. Voy. Lentilles.
Français (soldat, marin et ouvrier), ration alimentaire, 514.
France, affaissement du sol avant la période actuelle, 475. — adoucissement probable de son climat, 252. — situation de l'agriculture, 505 à 515. — prix du blé depuis 1724, rapport avec la mortalité, le nombre des naissances et des mariages, 782.
Franguline, 652.
Froid, appareil pour le produire.
Fromage, fabrication, diverses espèces, 470 à 472. — altérations, 472. — fromage de haricots et de pois, 472. — quantité d'azote contenu, 579. — digestibilité, 366.
Froment, récolte dans l'air pur et dans l'air ammoniacal, rendement, azote contenu, 99, 131, 132. — comparaison des produits obtenus avec les azotates et avec les sels ammoniacaux, 132, 133. — action sur cette culture de diverses matières organisées, 132, 133. — de matières azotées, 134. — carbone contenu, 233.— carbone fixé, 68, 234.— *paille* et *balles* comme engrais, richesse en azote, équivalent, 134.
Frontal (os) fossile, 777.
Frottement, production de chaleur, 196, 198, 687. — perte de chaleur, 688.
Fruits, pourriture, ses causes, 761.
Fulgurites, 343.
Fumier, 274. — de ferme, azote cont., 134.
Fungie, développement des tentacules, 267.
Fusil, à aiguille, inflammation de la poudre et propulsion de la balle, 585, 586.

G

Gage, en matière d'agriculture, ses difficultés, moyens d'y obvier, 511, 512.
Galle du blé, 546.
Galle (noix de), dans la teinture, 370.
Gallique (ac.), —653, transformation en pyrogallol, 655. — dans la poudre à canon, 826.
Galvanisme, 394.
Galvanoplastie, 395.
Gambier (îles), formation, 479.
Ganglions nerveux sympathiques, 492, 493, 657. — lymphatiques. Voy. Lymphatiques.
Garance, comme matière colorante, 372. — culture, souffrances actuelles, 506.
Garçon, carbone brûlé par la respirat., 376.
Gastornis, oiseau fossile, 604.
Gastrique (catarrhe), 82.
Gastrique (suc), compos. et acts sur les aliments, 45, 46, 366, 367, 801 à 807.—préparation artificielle, 367, 802. — excitants de la sécrétion, 803.—la sécrétion s'arrête dans l'inanition, 583.
Gayacol, 652.
Gaz, liquéfaction, 396. — absorption par les corps poreux, par le sol, nécessaire à la végétation, 120.
Gaz d'éclairage, modifie les couleurs, 223.
Gaz (machine à), 155, 156.
Gazelle, pouvoir musculaire, 690. — influence des éclipses, 647.
Géant (glacier du), 435, 436, 438.
Gélatine, action sur le développement des végétaux (culture du froment), 133,—dans les tissus épidermiques, 576. — peut-elle servir d'aliments? 578.
Gélives (pierres), 106.
Gemmariés, 482.
Gemme, mode de reproduction des animaux, 702.
Génération, idées de Lamarck, 300. — chez les insectes, 729, et suiv. — chez les oursins, 774.—*alternantes*. Voy. Alternantes (générations). — *Spontanées*, 298 à 300, 310, 548, 633, 692.
Genèse de la vie, 300.
Génitales (plaques et glandes), chez les oursins, 483, 517, 774.
Géologie du bassin de Paris, 601 à 606.
Géologiques (phénomènes), leur succession et leurs causes, 749.
Géométrie, applications, opinion de Platon, 394.
Géophile longicorne, 89.
George (îlot), île volcanique. Voy. Santorin.
Géphyriens, 481, 516.
Germes des maladies, pourquoi ils ne se développent pas chez tous, 715, 716.
Germes organisés, dans l'atmosphère, 3.
Germination, 30.
Gésier des oiseaux, 769, 770. —contraction, trituration des graines, 800.
Geysers de l'Hécla, 795.
Girafe, 317.
Givre, dessins, 398.
Glace, sa constitution physique, 397, 400. — neige, nevé, 397. — glace glaciaire, glace d'eau, glace de fond, 398. — fleurs de la glace, 398. — propriétés optiques, 399. — anneaux colorés de la glace, 399. —caractères de cristallisation, 400.—glaciers, 400. — formation dans les mers et les rivières, 200, 201. — effet du frottement, 687. — excite la sécrétion gastrique, 803. — transport de roches par les blocs de glace, 476.
Glaciaire (période), 474, 475, 691.
Glacial (océan), 475, 476.
Glaciers, 400, 433 à 452. —froid des hautes régions de l'atmosphère, 433. — moraines ou rochers dans les glaciers, 435. — ascension, dangers, paysages, 436, 437.— mouvements des glaciers, 438 à 440. — régélation de la glace 441, et suiv.
Glandes, influence du système nerveux 741 à 744. — pression dans leur intérieur comparée à la pression du sang dans leurs vaisseaux, 744. — effets de la galvanisation directe, 744. — action du curare sur la sécrétion, 753. — Glandes à *pepsine*, 769.
Globe, chaleur centrale, 250, 251.
Globulaire (foudre), 345.
Globules du sang (*globules rouges*), 91, 368, 730. — nombre, formes, volume, 10, 11, origine, formation et destruction, 11, 12, 94. —fonctions respiratoires, 12, 13, 92, 94. — hématoglobuline, 13, 14. — action de l'oxyde de carbone, 14, 95. — action catalytique, 63. — dim. dans l'inanition, 582. — dégénérescence des nerfs sympathique et pneumogastrique, effets, 658.
Globules blancs du sang, 14 ,18, 91, 94, 368.
Glosso-pharyngien (nerf), anastomoses avec le pneumogastrique, influence sur l'œsophage dans la déglutition, 754 et suiv.
Gluten, 576, 831.—dans le blé, 189, 513.— action catalytique, 62. —comme aliment, plastique, 578, 613. — digestion, 805.
Glycérine, 168, 256, 739. V. Nitroglycérine.
Glycérinophosphorique (acide), 657.
Glycogénie animale, 55, 56, 495.
Glycol, 739.
Glycolate de zinc, synthèse de l'acide hippurique, 656.
Glycose, 255, 256. — aliment respiratoire, 613. — dans les muscles, 626.
Goeland, estomac, couche musculaire, 770.
Goitre, influence de l'iode, 295.
Gomme, 189, 572, 831.—ne nourrit pas, 577. — dans le thé, 515.
Gommeuse (séve), 139.
Gorgone, 270, 303, 381, 460.
Gorner (glacier de) près de Zermatt, 436.
Goudron, 652. — matières colorantes qui en dérivent, 373 à 375.
Goutte, méthode de traitement, 741.
Graine, sa constitution physique et chimique, 30. — son anatomie, 30. — son développement, 30.
Grains, commerce, législation révolutionnaire, lois et réglements dans divers pays, 778 à 780. — ensillage, 788, 789.
Graisse dans la chair des herbivores, les carnivores n'en ont pas, 512. — dans la chair de bœuf et de poisson, 486. — rôle dans la nutrition, substances d'où elle peut dériver, 613. — dans la production de la force musculaire, 690. — digestion, 367. — partie essentielle de certains organes, 613, 614. — dans l'urine, 415, 416, 430. — fixation dans les tissus, dégénérescence graisseuse; elle devient alors un aliment plastique, 578. — déperdition dans l'inanition, 581. — *Graisse de poisson*, emploi pour l'alimentation dans les régions polaires, 513.
Grand sympathique (système nerveux), 492, 493. — anastomoses avec le pneumogastrique, rôle dans les mouvements de l'œsophage, 754, 755 et suiv. — action sur

les vaisseaux, 494, 495, 742. — sur les sécrétions, 742, 743.— effet de sa galvanisation sur la sécrétion de la glande sous-maxillaire, 721.
Granivores (oiseaux), gésier, 769, 770.—trituration dans l'estomac, 800.— digestion, 801, 802.
Graphique (méthode), pour représenter les phénomènes particulièrement en physiologie, 172, 173.
Grasses (matières), constitution chimique, quantités contenues dans les plantes oléagineuses, 256. — dans les végétaux, 189, 190. — dans le fourrage, 469. — dans le le blé, 518. — dans le sang, proviennent du chyle et des aliments, 8. — comme aliment, 577. — rôle dans la calorificacation, 833. — mode d'élimination, 577.
Gravitation, 684. — rend probable l'existence de l'éther remplissant l'espace, 649. — source de chaleur, 830.
Greffe animale, 765.
Grenouille, appareil digestif, 769. — température interne, 413.—contraction musculaire, durée, trav. prod., carbone brûlé, 568, 834, 835.—infusoires parasites, 428. suc gastrique, action de la chaleur, 806.— développement de la colonne vertébrale chez le *têtard*, 244.—effets de l'acide carbonique et de l'oxyde de carbone, 377.— phénomènes galvaniques, 394.
Grenouillette, 661.
Grès, 603.
Grillons, influence des éclipses, 646.
Groenland, exhaussement du sol, glaciers, 475. — moins froid autrefois qu'aujourd'hui, colonies prospères, 477. — affaissement de la côte occidentale, 478.
Grundeis ou glace de fond, 398.
Gruyère (fromage de), 471.
Guano (engrais), azote, équivalent, 184.
Guêpe, endort la proie pour ses larves, 591.
Gui, direction de ses racines, 244.
Guillotine, son invention, 760.
Guinée, temp. moy. de chaque saison, 202.
Gulf-stream, grand courant marin, marche, chaleur, influence sur le climat de l'Europe, 106, 200, 201, 474, 477.
Gustation, rôle de la salive sous-maxillaire, 659, 660, 661.
Gutta-percha, 652. — emploi dans la galvanoplastie, 395.
Gymnastique, importance pour la santé, 95.
Gymnote électrique, 723, 725.
Gypse, gisements et exploitations à Paris, 603. — animaux fossiles, 604, 605.

H

Habitudes, peuvent devenir des instincts en se transmettant aux descendants, 498.
Halley (comète de), 61, 213 à 215.
Hanneton, 735. anatomie, 736. —larve, 588.
Haricots, végétation, gain d'azote, 96, 102. — servent à fabriquer un fromage, 472.
Harmonica chimique, 571.
Hécla, volcan d'Islande, 795.
Hélianthus, 102, 103.
Hélicine, 651.
Héliconidea, papillon de l'Amazone, 694.
Héliostat, 387.
Helladotherium, fossile de l'Attique, 75, 76.
Helminthes, 265, 266, 457, 462, 482. —collect. du muséum d'hist. nat. de Paris, 382.
Helminthiase, 721.
Hématine du bois de campêche, 652. — dans l'inanition, 582.
Hématoglobuline, 14, 576.
Hématosine, matière colorante du sang, 486.
Hématozoaires, 18, 19, 20.
Herbivores, leur chair contient de la graisse, aliment complet pour les carnivores, 512. — glandes salivaires, 658. — puissance digestive du suc gastrique, 805.
Héron, 317. — estomac musculeux, 770.
Herzolite, dans les météorites, 685.
Hétérologie, des tumeurs, 595, 596, 606.
Hétéroplasie, des tumeurs, 593 et suiv.
Hêtre, azote, fix., 68.— carbone contenu, 283.
Hevea (séve de l'), 139.
Hibernation, permet de se passer longtemps d'aliments, 367.
Himalaya (montagnes), leur âge, 406.
Hipparions, 77, 78, 79.
Hippocratique (facies), 710.
Hippopotame, 473, 475. — estomac, 772. — fossile, 605. — *hippopotamus major*, 625.
Hippurique (ac.), 4, 8, 416, 613, 653.— synthèse, 656.—hippurate dans l urine, 430.
Hirondelle, nids comme aliment, 769.
Histologiques (éléments), 698. — déperdition par suite d'alimentation insuffisante, 581. afflux du sang produit par leur excitation, 743. — Histologie, 750.
Hiver, maladies régnantes : bronchite, variole, 716.
Hollandais (soldats), ration alimentaire, 514.
Hollande (fromage de), 471.
Holothurie, 459, 460, 480, 481, 482, 488, 843-845. — *Holothurides*, 482, 485, 516.
Holz (machine électrique de), 690.
Homard, 587, 735.
Homme, développement pendant l'allaitement, 513, 514. — développement après le sevrage, 514.— ration alimentaire (soldats, marins, prisonniers, ouvriers, etc.), 514, 579 à 581. — ne peut se nourrir de matières minérales, 615. — rapidité des mouvements respiratoires aux divers âges de la vie, 375.—quantité d'ac. carbonique exhalée par la respiration, 376. — quantité de carbone brûlée à divers âges, 376, 834. — volume d'air et consommé par la respiration, 377.—température. int. à différ. âges, 413. — avec différ. alimentations, 414. — travail maximum, 834. — système nerveux, 492. — cerveau comparé à celui des singes, développement, plis cérébraux, 390 à 392. — individualité, conscience ou sens intime, 703, 704. — glandes salivaires, 658. — alcali de la salive parotidienne, 660.—estomac, force musculaire, tendance biloculaire, 768, 770, 771, 800. — glandes stomacales, 770, 771. — suc gastrique, action, quantité sécrétée, puissance digestive, 802, 803, 805.— analyse du sang, fer contenu, 368. — analyse de l'urine, 415. — proportions de quinoïdine animale dans les différents tissus, 738, 739.—fluorescence de l'œil, 741. — insectes parasites, 730. — trichinose, 488. — chaleur extrême qu'il peut supporter, 414. — influence morale des éclipses, 647, 648.— antiquité sur la terre, armes, silex, construction des anciens peuples, industrie primitive, ossements fossiles, 605, 623, 695, 751, 777.
Homoeoplasie des tumeurs, 593 et suiv.
Homologie des tumeurs, 595, 596, 606.
Horloges, 328.
Horticulture, rapports avec la botanique, 532 à 536. — met les plantes exotiques à la disposition du savant, 532.
Houille, formation, épuisement futur, moyens de la remplacer, 689.
Huiles, rendement, 256.
Huîtres, existaient autrefois dans la Baltique, 475. — branchies, 380. — culture, 750. digestibilité, 366. — *fossiles*, 604.
Humidité de l'air, 252 à 254.
Humorisme, 598.
Hundsruck (montagnes), leur âge, 406.
Hura crepitans, séve laiteuse, 140.
Hybrides, 588. — infécondité, 698.
Hydraulique (chaux), gisement, 603.
Hydraulique (tourniquet), 143.
Hydrémie, maladie du sang, 582.
Hydres, 482, 702. — place dans le règne animal, 459, 460, 461.
Hydrocarbures dans les tissus animaux, 576.
Hydrogène, moyen pour le substituer au chlore, 655. — existe dans le soleil et les étoiles, 404, 686. — dans les volcans de boue, 798. — équivalent calorifique, 809. — transpiration capillaire, diffusion, 119. — absorption par le charbon de bois, 120. — dans les végétaux, 189, 274, 275. — rôle dans la végétation, 101. — dans la respiration des feuilles, 100. — assimilation par les végétaux, 289, 240. — dans les aliments, 578, 579. — comment il s'élimine de l'organisme, 577.
Hydrogène carboné, sulfuré, phosphoré, etc. Voy. Carboné, Sulfuré, Phosphoré, etc.
Hydrogène (carbures d'), dans l'air, 290. — les volcans de boue, 798.—la série aromatique, mode de génération, 651, 652, 653, 654.
Hydropisie, influence sur l'urine, 416.
Hygroma, tumeur, 593.
Hyménoptère, plongeant à l'aide d'ailes, 694.
Hypermétamorphoses d'insectes, 589.
Hypochondrie, infl. sur la digestion, 658.
Hypoglosse (nerf), action sur les mouvements de la langue dans la déglutition, 754. — anastomoses avec le pneumogastrique, act. sur l'œsophage, 754 et suiv.
Hypoxanthine, matière d'excrétion, 613. — dans les muscles, 626.
Hystérie, influence sur la digestion, 658.

I

Ichneumon, 588 où, il dépose ses œufs, 591.
Ictère, 664. — influence sur l'urine, 416.
Idées, au point de vue physiologique, actions réflexes psychiques, 497.
Idiots microcéphales, 391.
Iles, leur formation, 405.
Images par réflexion et par réfraction, 418 à 425, 452 à 456, 463 à 468. Voy. Lentilles.
Inanition, effets sur la déperdition des éléments histologiques, la constitution du sang, les urines, la combustion respiratoire et la chaleur animale, la digestion et l'absorption, source d'anémies, 581 à 583. inanitions épidémiques, 583, 584. — présence de la graisse, 613, 614. — effets, rapidité de la mort, 367.
Incombustibilité, moyens de communiquer cette propriété aux étoffes, 196.
Indices de réfraction, 418.
Indien (ouvrier), ration alimentaire, 514.
Indigestion, par arrêt réflexe de la sécrétion des sucs intestinaux, 494.
Indigo, 651. — emploie dans la teinture, 371, 372. — *indigotine*, 739.
Individu et atome, 697-704. *individualité*, 699.
Induction élect., courants induits, 813, 835.
Induction, moyen d'analyser l'acte musculaire, 567, 568.

Digitized by Google

Induite (contraction), 333, 334, 568. — *secousse musculaire induite*, 568.
Induration, 606.
Inflammation, appel de sang résultant d'une action directe sur les éléments histologiques, 743.—rougeur et tuméfaction, causes, 616. — anatomie pathologique, 767.
Influence (électrique par), 339.
Infusoires, 459, 462, 730. — reproduction, 426.—réviviscence, 546. — ne se laissent pas imbiber par les liquides extérieurs pendant la vie, 808.
Inguinales (glandes), tumeurs, 610.
Innervation, 657, 658. — son affaiblissement par des causes morales ou des souffrances physiques empêche l'alimentation, et produit l'anémie, 584. — dans les ascensions de montagnes et en ballons, 137, 138.
Inosique (acide), dans la chair musculaire, 486. — *inosite* dans le cœur, certains parenchymes et urines, 626.
Insectes, progrès de la science qui les concerne, mœurs, métamorphoses, 729 à 737. — mode de reproduction, 729, 730. — classifications, 733, 734. — anatomie comparée de la bouche, 734.—formation de l'embryon dans l'œuf, 734. — identité primitive des embryons d'espèces très-diverses, 735. — appareil respiratoire, 736. — cœur ou vaisseau dorsal, 736. — circulation du sang, 736. — système nerveux, son développement, 736. — Collections, leur importance, 736, 737. — métamorphoses, formes, nature, causes, 587 à 592. — appareil digestif, 772. — tempér. intér., 413. — infl. des éclipses, 646,
Insectivores (mammifères), estomac, 771.
Instincts, caractères distinctifs, 498, 499.
Instruments, usage en physiologie, 171.
Intégrabilité des équations différentielles, 387.
Intelligence, son rapport avec les dimensions du cerveau, 497. — origine, siége, cause, 498, 499. — *animaux intelligents*, 319.
Intensive (culture), les plantes empruntent d'autant plus à l'air que l'engrais leur fournit davantage, 133.
Intermittentes (fièvres), influence sur la chaleur intérieure, 415,
Invertébraux (ganglions), 657.
Intestin, fibres-cellules, caractère de la contraction, 710. — inflammation, 716. — chez l'embryon d'oursins, 775. — comme appareil d'élimination, 580. — *liquide de l'intestin*, rôle dans la digestion, 50, 51.— arrêt réflexe de sa sécrétion, 494. — élimination de la salive, 664. — *parasites intestinaux*, produisent des convulsions chez les enfants, 494. Voy. Helminthes.
Iode, ses propriétés, sa présence dans les végétaux, les animaux et l'air, 293 à 295. — d'où vient l'iode de l'air, moyen de le déceler, 294. — rapports avec le goître, 295. — emploi pour étudier les rayons du spectre au delà du rouge, 534. — action sur l'amidon, 255. — élimination par la salive, 664.
Iris, fibres-cellules, contraction, 710.
Irlandais (ouvrier), ration alimentaire, 514.
Irlande, réunie autrefois à l'Angleterre et à la France, pourquoi peu de reptiles, 750. — conséquence de l'usage exclusif des pommes de terre, 584.
Irritabilité, 315.
Isatine, 651.
Islande, volcan de boue, 795.
Isomères (corps). 256.
Issus de porc, 486.

J

Jabot, 769.
Jacobson (organe de), 389.
Jardins, leur utilité pour la botanique, 532, 533. Voy. Serres. — *jardins anglais*, leur poésie, 536.
Jaune, chaleur correspondante. 541.
Javelle (eau de), 163.
Jour sidéral, sa constance, 251.
Jument, composition de son lait, 431.
Jupiter, planète, volume, 684. — durée de la révolution, 212.

K

Kameni (Palœa-, Micra-, et *Nea*-). Voy. Santorin.
Kames (clause de lord), en Angleterre, pour les baux ruraux, 507.
Kanguroo, 317. — encéphale, 496.
Kasan, température 202.
Kent, caverne de Kent, ossements fossiles, industrie primitive, 620, 625, 749.
Képler (lois de), pour le mouvement des planètes, 211, 212. — appliquées aux étoiles, 670.
Kilogrammètre, unité mécanique, 194.
Kjoekkenmoedding, 751.
Koenisgberg (golfe de), encore émergé au moyen âge, province Wittandu, 477.
Kystes, leur nature, 592.

L

Laboratoire de chimie au xviiie siècle, 161-170.
Lacrymal (liquide et glande), chez les serpents, rôle dans la déglutition, 753.
Lactique (acide) 739. — formation et décomposition, 690. — peut dériver du sucre, 613. — rôle dans le lait, 431. — dans le suc gastrique, 367, 804. — rôle dans la digestion, 804. — dans les muscles fatigués, origine, 522, 523, 626. — influence sur l'irritabilité musculaire, 627. —excrétion, 613.—dans l'urine, 415,430.
Lait, compositions chimiques, propriétés, azote contenu, 430 à 432, 579. — fermentations lactique et acétique, 431. — conservation, sophistications, 432.— richesse en beurre, rendement, 469, 470. — quantité que peut donner le fourrage, 469. — quantité produite par une vache, 470. — aliment complet, 579. — digestion. 366, 806. — moyens de le remplacer pour les nourrissons, 86. Voy. Allaitement. — sécrétion, glandes mammaires, 52, 53. — sécrétion lactée du *jabot du pigeon*, 53. — *lait végétal*, produit par un arbre du Pérou, 103, 104. — sucre de lait, dans le lait, 471. Voy. Beurre, Fromage.
Laiteuse (séve), 139.
Lamellibranches (mollusques), 379, 380.
Lamentins, estomac, 772.
Lamproie, 427. — glandes salivaires, 658.— appareil digestif, 768.
Langoustes, circulation, état de larve et d'adulte, 369, 427. — métamorphoses, 735.
Langue de bœuf, poids, 485.
Lanterne d'Aristote, appareil masticateur de l'oursin, 482, 518, 772.
Lapin, plus carnassier que le loup, 497. — fluorescence de l'œil, 741. — chaleur extrême qu'il peut supporter, 414. — grand sympathique, action sur les vaisseaux de l'oreille, 494,495. — nerf pneumogastrique, influence sur les mouvements de l'œsophage, 755, 757. — propriétés de la salive, 663. — estomac, 771. — action des nerfs pneumogastrique et spinal sur l'estomac, 807.
Laque en teinture, 371.
Lard, quantité contenue dans le porc, 486.
Larmes, leur sécrétion quand l'œil est touché, 494.
Larves d'insectes, mœurs, formes, etc., 588. 589. — produisent parfois des larves, 590.
Latente (chaleur), son explication dans la théorie mécanique, 199.
Latitude, influence sur la température et la végétation, 175, 176.
Laves, substances gazeuses qu'elles émettent, leur ordre de succession, 557.
Lécithine, 657.
Légumes, place dans l'alimention, 514. — dans le bouillon, 487.
Leguminaria, mollusques acéphales, 380.
Légumine, et fromage de pois, 189, 190.
Légumineuses (plantes), 576. — emploi du plâtre comme amendement, 603.
Lentilles, 539.
Lentilles, foyers, formation des images, 453 à 456, 463 à 468, 499 à 504, 525 à 532, 558 à 566, 596 à 600. —associations de lentilles, 598 à 600, 672 à 680, 705-709.
Lentilles de l'oeil, proportion de quinoïdine animale, 739. — fluorescence sous l'influence de la quinine, 740.
Lépidoptères, métamorphoses, 729, 731. — développement, 734, 785. — transmutations d'espèces, 694.
Lépidosiren, 548,
Leucine, 739.— formation dans l'organisme, 576, 577.
Leucocytes. Voy. Globules blancs du sang.
Levain, dans la fabrication du pain, 513.
Levure de bière, action catalytique, sur HO^2, 63, — sur le sucre, 65. — levain, 513.
Lexell (comète de), 217.
Leyde (bouteille de), 339, 340.
Lias, ses différentes couches, 691.
Libavius (liqueur fumante de). Voy. Étain (bichlorure d').
Liberté ou spontanéité dans la nature, 699.
Libre-échange, utilité pour l'agriculture, 506.
Lichens, dessiccation, réviviscence, 546.
Liége (Université de), programmes, 208.
Ligneux dans le thé, 515.
Lignite, gisement, 604. — dans les volcans de boue, 797, 798.
Limaçons fossiles, 623.
Lin, 256. Voy. Tourteau.
Lingual (nerf), influence sur la sécrétion de la glande sous-maxillaire, 720. — de la glande sublinguale, 721.
Lion, 317.
Lipémie, altération graisseuse du sang, 608.
Lipomes, tumeurs, 593, 607, 608.
Liquides, congélation, 396.
Lithium, absorption et passage dans le corps des animaux, 737.
Lithobius forficatus, myriapode, 587.
Lithoderme, 481.
Locomotive, 151, 152, 153.
Loess. Voy. Diluvium.
Loir, fossile, 605.
Lois dans les phénomènes de la vie, 309.
Lombric, se nourrit-il de terre ? 615. — appareil digestif, 768.
Lomechuse, rapports avec les fourmis, 264.
Londres, situation géologique, matériaux de construction, 603. — peste et incendie de

1666, 183, 184; — origine de la *Société royale*, 183, 184. — *Institution royale*, historique, programme des cours, 288, 304. — *congrès international de botanique*, 532 et suiv. — prix du blé depuis 1714, rapport avec la mortalité, 782.
Loup, moins carnassier que le lapin, 497.
Lucernaire, 480, 481.
Lucines, mollusques acéphales, 379, 380.
Lumière, comparée à la chaleur et au son, 123, 124 et suiv. — vitesse de sa propagation, 124, 125, 649. — analogie des couleurs et des sons, 125, 126. — nombre de vibrations des couleurs, gamme de couleurs, 126. — le peu d'étendue de cette gamme tient à la constitution de l'œil, 129. — identité de la chaleur et de la lumière, 130. Voy. Couleur. — émise par le soleil, 537. — réflexion, miroirs concaves, effets, 538, 539. — réfraction, lentilles, 539. — polarisation, double réfraction, 539. — décomposition, 540. — rapport de son intensité avec celle de la chaleur, 542, 543. — raies du spectre, 542. — son absorption et celle de la chaleur, 542, 543. — vitesse de propagation dans la glace, 400. — vitesses comparatives dans l'air et dans l'eau, 542, 650. — phosphorescence ou résonnance lumineuse, 545. — transformations des rayons invisibles en rayons visibles (fluorescence), 545. — nature de la lumière, *théorie des ondulations*, 197, 227, 544 à 546, 649, 650, 688. — force et action mécanique des rayons lumineux, 650. — changement de couleur par modification du ton des vibrations quand la distance du corps lumineux varie. application au calcul du mouvement des étoiles, 671. — changement de réfrangibilité, 737. — ce que devient la lumière en se perdant, 688. — intensités chimiques relatives de la lumière directe et diffuse, 816 à 819. — influence de la grosseur des particules entre lesquelles passent les rayons, 818, 819. — action sur les végétaux, 533, 534, 690. — influence sur la respiration des feuilles, action de chaque radiation élémentaire, 235. — action des diverses couleurs sur la direction des tigelles et radicules, 249. *Lumière électrique*. Voy. Électrique (lumière).
Lune, constitution physique et chimique, aspect de la surface, mers, plaines, volcans, 407, 686. — contraction par refroidissement, rainures, 407. — montagnes et volcans, 181. — grosseur relative, 326. — diamètre, distance à la terre, 639. — éclipses, 639, 640 et suiv. — atmosphère, 643, 686. — explication de l'écornement dans les éclipses, 643. — trou d'Ulloa; aspect pendant les éclipses, 645. — tables de la lune, 645. — mouvements de translation et de rotation, 324, 325, 639 et suiv. — phases, 325. — pourquoi elle montre toujours la même face à la terre, 331. — marées, 326, 327. — accélération du mouvement moyen, 688. — chaleur qu'y produit la radiation solaire, 747.
Lunette astronomique, 672 à 675. — argenture de l'objectif pour l'observation du soleil, 681, 682.
Lupins, gain d'azote dans la végétation, 95, 96. — *graines*, comme engrais, 133.
Lutine, 653.
Luzerne, rendement, végétation. — analyse chimique, 98. — fixation d'azote, 68, 98. — carbone contenu, 233. — *verte*, 720.
Lymphatiques (ganglions), rôle dans la formation du sang, 94.
Lymphatiques (glandes), propagation du cancer, 608, 609, 611, 612.
Lymphatiques (vaisseaux), existent dans le cancer, rôle dans la propagation du mal, 608. — cancers dans ceux des poumons, 611, 612.
Lymphe, 368. — circulation, vaisseaux et cœurs lymphatiques, 28, 29, 525. — *lymphe plastique*, 593. — *corpuscule* de la lymphe. Voy. Globules blancs du sang.

M

Machærodus, 76, 625.
Machoires, chez les insectes et crustacés, 734.
Machine a gaz, 155, 156.
Machines a vapeur, 831. — histoire, 141 à 156. — chaleur perdue, 199, 200.
Madère, climat constant, 202.
Madréphyllie, 482.
Madrépores, 482. — formation d'îles et de récifs, 478 à 480.
Madréporique (plaque), 517, 838.
Magenta, couleur rouge, 374, 653.
Magnésie blanche, 168, 396. — dans les végétaux, 189. — dans la luzerne, 98.
Magnésie (carbonate de), dans l'urine, 430.
Magnésie (phosphate de), dans le sang, 368. — dans les muscles, 625. — dans la salive, 661. — dans le suc gastrique, 803. — dans l'urine, 415, 430. — dans le bouillon, 487.
Magnésie (sulfate de), action du chlorure de sodium, 728. — pourquoi il ne s'en dégage pas dans les érupt. volcaniques, 728.
Magnésium, 396. — sa lumière n'altère pas les couleurs, 221. — existe dans le soleil et d'autres astres, 404. — *lampe à magnésium*, prix de la lumière, 749.
Magnésium (chlorure de), dans l'eau de mer, 728. — pourquoi ne s'en dégage-t-il pas dans les érupt. volcaniques, 728. — dans les eaux mères des marais salants, 396.
Magnétisme, 353 à 357, 687, 688. — magnétisme terrestre, rapport avec les taches du soleil, 688.
Magnéto-électriques (machines), moyen d'accroître leur force, 689. Voy. Électromagnétiques.
Maguey, rendement, 101.
Maïs, employé à Mexico pour nourrir les chiens destinés à l'alimentation des boucheries, 512. — remplace le blé pour l'alimentation en Amérique, 513.
Malacologie, collections du Muséum d'histoire naturelle de Paris, 382.
Maladie dans le plan de la création, 713 à 718. — causes de la maladie, 713. — existait chez les animaux fossiles, 714. — n'est pas guéri par l'art, 714. — causes immédiates de la maladie, épidémies, 714, 715. — la maladie se limitant elle-même, 715. — germes, pourquoi ils ne se développent point chez tous, 715, 716. — influence des saisons, 716. — force médicatrice, 716, 717. — raison de la maladie, 716. — lois du développement de la maladie, 717. — issue naturelle sans traitement, 717, 718.
Malaptérure, poisson électrique, limites de l'immunité aux courants électriques, 725.
Maldives (îles), s'affaissent, 479.
Malique (ac.), découverte par Scheele, 168. — dyssimétrie moléculaire, sursaturation, 825.
Mamelles, glandes productrices du lait, 431.
Mammifères, glandes salivaires, 658. — estomac, 770. — suc gastrique, action de la chaleur, 806. — température intérieure, 413. — *fossiles*, 604, 605.
Mammouth, 76, 605. — découvert dans un bloc de glace, 488.
Mandibules, 734.
Manganèse (oxyde de), sa décomposition par la chaleur, 162.
Manganèse (perchlorure de), ses modifications de couleur, 220.
Manioc, 255.
Manométriques (flammes), 570, 571, 573-575.
Maracure, 140.
Marais salants; eaux mères, substances qu'elles contiennent, 396.
Marais (gaz des). Voy. Carboné (hydrogène).
Marcottage, mode de propag. des plantes, 701.
Marées, 326, 327. — réaction sur la lune, 141, — perte de force vive par ses frottements, conséquence pour la vitesse de la rotation de la terre, 688. — utilisation future comme producteur de force, 689. — *marées souterraines* du liquide igné central comme cause des éruptions volcaniques, 728.
Mariages, rapport de leur nombre avec les variations de prix du blé, 784, 785.
Marins, ration alimentaire, 514.
Marins (courants). Voy. Eau, Courants marins.
Mariotte (loi de), explication dans la théorie mécanique, 199.
Mars (planète), 402, 403.
Marsouin, estomac, 772.
Marsupiaux, estomac, 771.
Mascareignes (îles), oiseaux disparus, dodo, 751.
Masséter (muscle), tonalité des vibrations, 552.
Mastication, 352, 753. — excite la sécrétion de la salive, 719. — rôle de la salive parotidienne, 659. — influence sur la sécrétion de cette salive, 659.
Mastodonte, mammifère fossile, 76, 605.
Matérialisme, rapports avec la poésie, 308.
Mathématiques, pourquoi traitées d'inutiles, 397. — utilité pour la navigation, etc., 397.
Mauvéine, 653.
Maximum, législation commerciale révolutionnaire, 779.
Mécanique céleste, lois du mouvement propre des étoiles, 667, 668.
Mécanique (conception), de la vie, 305 à 311. — ce n'est pas le matérialisme, 308.
Méconique (acide), 653.
Médard (Saint-), influence de la température de ce jour sur les récoltes, 510.
Médecine, histoire, depuis son origine jusqu'au VIIIe siècle après Jésus-Christ, 33 à 41. — chez les Grecs, 33 à 36. — en Égypte, 36, 37. — à Rome, 37 à 40. — Homère, 33. — philosophes antésocratiques, 34. — influence d'une bonne ou d'une mauvaise physiologie, 34. — Hippocrate, 35, 36. — école d'Alexandrie, 36, 37. — Hérophile, Érasistrate, 37. — empirisme, 37. — méthodisme, 37. — Celse, 38. — Galien, 38. — médecine de la décadence, 39. — école de Salerne, 40. — erreurs vulgaires à son sujet, 285 à 288. — but et rôle social, 713. — *médecine légale*, 765. — *éducation médicale*, imperfections et lacunes, 748.
Méditerranée, exhaussement des côtes, 478.
Médicatrice (force), 716, 717.

Digitized by Google

Méduse, 460, 482; générat. alternantes, 427.
Mégalosaure, reptile fossile, 605.
Mélange des gaz, 118.
Mélasse, nourriture des esclaves dans l'Amérique du Sud, 514.
Mélicéris, tumeurs, 593.
Membranes carrées élastiques, vibrations, 387.
Ménisques convergent et divergent. Voy. Convergent et Divergent (ménisque).
Menthol, 651. — *Menthène*, 653.
Mers, étendue de leur surface, 105. — changements des rivages, 750. — température, 200, 201. — influence de leur voisinage sur les climats, 202, 253. — infiltrations de leurs eaux comme causes des éruptions volcaniques, 728. — formation, 405. — absorption future, 407. — la vie s'y enrichit des matières organiques qu'on y laisse écouler, 508.
Mer de glace, 435, 436, 437, 438, 439.
Mercure, son extraction, 29, 30. — action catalytique, 62, 64. — *sels de mercure*, élimination par la salive, 664.
Mercure (iodure de), action sur la quinine et la quinoïdine animale, 738.
Métamorphoses des animaux articulés, 427, 588 à 592, 735, 736 et 729 à 737, *passim*.
Métapeptone, 805.
Métayer, position meilleure que celle du fermier dans les années malheureuses, 507.
Météores. Voy. Filantes (étoiles).
Météorites, composition chimique, 685. — reproduction artificielle, 685.
Météorologiques (observations), 746.
Méthodisme, doctrine médicale, 37.
Méthylphénol, production, 655.
Meulière (pierre), 603.
Mexico, ses habitants ne mangeaient d'autre chair que celle de l'homme et du chien, 512. — hauteur barométrique, 138.
Mexique, altitude de la région des neiges perpétuelles, 175.
Miasmes de l'atmosphère, 3.
Microcéphales (idiots), 391.
Milan, nourri avec des végétaux, 614.
Milleporés, 482.
Millet, action catalytique, 63. — remplace le blé dans l'alimentation en Afrique, 513.
Minérales (substances), dans le sang, 9, 10.
Mines, air vicié, effets, 377.
Minyas, Minyade, 481.
Mira ceti, étoile variable, 617, 618.
Miracle, au point de vue des sciences naturelles, 309.
Mirbane. Voy. Nitrobenzine.
Miroirs *concaves* et *convexes*, formation des images, 419 à 425, 538.
Moelle allongée, 495.
Moelle épinière, 492, 493, 657, 764. — cellules de la moelle, 494. — actions réflexes sympathiques, 494, 495. — usure par la fatigue, 523. — épuisement par les abus sexuels, 657.
Moisissures, cause de la pourriture des fruits, 761. — du fromage de Roquefort, 472.
Molaires (glandes), 658.
Moléculaires (granulations), dans le sang, 4, 14.
Mollusques, développement embryonnaire, identité primitive des embryons, 735. — mouvements, 731. — appareil digestif, 772. — système nerveux, 491. — température intér., 413. — *acéphales*, 379, 380.
Molpodie, 481.
Molybdique (acide), 168
Monochromatiques (verres), 542.
Monotrèmes, estomac, 771.
Montagnes, leur formation, âge de chaque chaîne, 405, 406. — lignes de soulèvements, 797. — ascensions, effets sur l'organisme, 137, 138.
Montanvers, 437.
Montmartre, formation, 602.
Moraines, rochers dans les glaciers, 435.
Morphine, 738.
Mort, calcul des probabilités, 716.
Mortalité, rapport avec les variations de prix du blé, 781 à 786.
Morue, appareil digestif, 768.
Morve, peut résulter de la fatigue, 625.
Moscou, température, 202.
Moteurs (nerfs et racines), 490, 493. — centre de nutrition, 657.
Mouche a viande, 688. — reproduction, 730.
Moules, branchies, développement, 380.
Mousses, dessiccation, réviviscence, 546. — mode de reproduction, 461, 462.
Mouton, prix dans l'Amérique du Sud, 488. — *salive*, propriétés, 663. — salives élémentaires sans action sur les substances amylacées, 754. — estomac, rumination, 800, 801. — suc gastrique, puissance digestive, 805. — température intérieure, 413. — fer dans le sang, 368. — suint, 385. — action stimulante du sel marin sur le mouvement nutritif, 579. — fluorescence de l'œil, 741. — n'est pas infecté par la trichine, 488. — *excréments* comme engrais, richesse en azote, 134.
Mouvement dans les fonctions de la vie, 170 à 174, 203 à 208. — transformation en chaleur, 687.
Moyennes, induisent souvent en erreur, 506.
Mugil, appareil digestif, 769.
Muqueuses (membranes), act. catalytique, 63.
Muqueuses (glandes), 658.
Muriers, assimilation d'azote, 100. — comme engrais, richesse en azote, équivalent, 134. — culture, ruineuse aujourd'hui, 506.
Muscles, constitution histologique, contractilité, 710. — organes de mouvement, fibres lisses et striées, 207. — contraction musculaire, 207, 208. — bruit musculaire, 208. — production artificielle de tétanos, 208. — graisse, 613. — proportion de quinoïdine animale, 739. — fluorescence sous l'influence de la quinine, 740. — *courants électriques*, 331, 332. — action de l'électricité, 333, 334, — limite de fréquence des excitations électriques qui provoquent la contraction, 566, 567. — différences de la contraction dans les différents muscles et chez divers animaux, 567, 568. — caractères de la systole du cœur, 567. — secousse musculaire induite par cette systole, 568. — oxydation pendant le repos et la fatigue, 625 à 627, 630 à 632. — exercice musculaire, effets bons et mauvais, 625. — syntonine, myosine, albumine, 625. — créatine, acide urique, inosite, glycose, acide lactique, 626. — respiration, destruction, 626, 834. — réaction ac. ou alcaline, 626. — causes de la fatigue musculaire, 626, 627. — rigidité cadavérique, 627. — rôle de l'excitation nerveuse dans la contraction musculaire, 628, 629. — production de chaleur dans la contraction, 629, 630. — combustion du carbone et des principes azotés pendant le travail, 630, 631. — réparation du muscle, avec quels éléments elle se fait, 631, 632. — amaigrissement dans l'inanition, 581. — effets de la contraction, usure, principes régressifs, 656. — modifications résultant de leur fatigue réaction, substances solubles, 522, 523. — suc musculaire, 523, 524. Voy. Myosine. — *pile musculaire*, 332. — *force musculaire*, origine, 690. — phénomènes musculaires, 408 à 412. — *tissu* musculaire, constitution physique, 486. — *vibrations musculaires*, moyen d'en apprécier le nombre, 552. — *substance musculaire* au point de vue de l'alimentation, 485 à 488. Voy. Secousse musculaire, Contraction, Fatigue.
Musculine, transformation par l'exercice musculaire, 656.
Musculine, aliment plastique, 613. — digestion, transformation en peptone, 806. Voy. Syntonine.
Muséum d'histoire naturelle de Paris, histoire de la chaire des onimaux inférieurs, 296, 311, 357, 377. — collections de coquilles, de malacologie, des helminthes, des annélides, des spongiaires, des échinodermes, des zoophytes, 382.
Musicale (notation), peut fournir des éléments aux méthodes graphiques, 174.
Mylo-hyoïdien (nerf), action sur les glandes sous maxillaire et sublinguale, 720, 721.
Myographique (pince), 409, 410.
Myosine, ou suc musculaire, coagulation sous l'influence de la chaleur, 625. — transformation, 626.
Myriapodes, 587, 727. — développement, 736.
Myrmédonia, ennemi des fourmis, 265.
Myrmicines, tribu de fourmis, 258.
Myrosine, action catalytique, 63, 65.

N

Naissances, rapport de leur nombre avec les variations de prix du blé, 784, 785.
Naphte, dans les volcans de boue, 796, 798. — *naphtaline*, 652, 653. — *naphtalène*, 653.
National (développement), des sciences naturelles en Allemagne, 156 à 160.
Naturalistes, considérés par les hommes d'État comme animaux domestiques, 159.
Nature, 312, 313.
Nausées, mode de production, 721.
Navets, fixation d'azote, 68. — carbone contenu, 233.
Nébuleuses, condensation, 402. — mouvements intérieurs, 403. — étude chimique, 670. — lois de la gravitation, 684.
Neige, 397. — pouvoir émissif et absorbant pour la chaleur, 231. — *neiges perpétuelles*, à quelle hauteur on les trouve suivant la latitude, 175, 434.
Nématoïdes ou filaires, dans le sang, 19, 20. — réviviscence, 546.
Nématophytes, 482.
Néphrite albumineuse, infl. sur l'urine, 416.
Néphrotomie, 610.
Neptune, durée de sa révolution, 212.
Nerfs, constitution chimique ethistologique, 657. — centres de nutrition, 657. — centres d'innervation, 657. — mouvement vibratoire, action de la chaleur, théorie dynamique, 616. — proportion de quinoïdine animale, 739. — fluorescence sous l'influence de la quinine, 740. — centripètes et centrifuges, ou sensitifs et moteurs, 490. — vitesse du courant nerveux, 346 à 351, 490. — sa direction peut changer, identité des nerfs moteurs et sensitifs, 490. — racines sensitives et motrices, 493. — ne sont pas nécessaires aux mouvements, 428. — courants élec-

Digitized by Google

triques, 331, 332. — action de l'électricité, 333 à 336. — usure par les excitations, 523. — *nerfs électriques* de la torpille, insensibilité à l'électricité, 726. — fonctionnement et épuisement nerveux, 657, 658. — *centres* nerveux, 491. — *fluide nerveux*, assimilé à l'électricité, 490. — *tubes nerveux*, 490. — *cellules* nerveuses, 490, 491. — *moelle nerveuse*, gaîne, 613. — *excitation nerveuse*, rôle dans la contraction et l'oxydation du muscle, 628.
Nerveux (système), domine tous les autres caractères chez les animaux, 459, 460. — physiologie générale et comparée, 489 à 499. — influence sur le système vasculaire, 25, 26. — régulateur de la température du corps, 629, 630. — influence sur les glandes, rôle dans les sécrétions, 741 à 744. — n'est pas indispensable aux sécrétions ni aux phénomènes de nutrition en général, 753. — rôle dans la sécrétion de la salive, 719 à 722. — dans les fonctions de l'estomac, 807, 808. — influence sur la décharge des poissons électriques, 724, 725. — développement chez les insectes, 736. — chez les crustacés, 736. — chez les oursins, 773. — chez les astéries, 824. — chez les crinoïdes, 842. — chez les holothuries, 845.
Neufchatel (fromage de), 471.
Neurine, 657.
Névé, forme de glace, embryon du glacier, 397, 434.
New-York, approvisionnement d'eau, 114.
Nicotine, action sur les animalcules réviviscents, 549. — action excitante sur l'œuf de la poule, 743.
Nielle du blé, altération causée par les anguillules, 546, 547.
Nil, sources, tributaires, inondations, 752.
Nitrates. Voy. Azotates.
Nitrobenzine, parfum, 374.
Nitroglycérine, poison, agent explosif pour remplacer la poudre, 827.
Nodales (lignes) des plaques sonores, 197, 569.
Noeud vital, centre des mouvements respiratoires, 495.
Noeuds de l'arbite terrestre, rétrogradation, 636, 640 et suiv.
Normandie, ses falaises se retirent de 60 centimètres par an, 405.
Nouveau-nés, mouvements respiratoires, 375.
Nuances, limites de la puissance de l'œil pour leur distinction, 371.
Nullipores, 482.
Nummulites planulata, coquille fossile de l'argile plastique, 604.
Nutation de la terre, 666, 668.
Nutritif (pouvoir), des aliments, 578, 579.
Nutrition, 741, 743, 744. — ration normale, 579 à 581.

O

Obscure (chaleur), action sur les végétaux, 534.
Océan Pacifique, zones d'exhaussement et d'affaissement, 478, 479.
Ocellaires (plaques), chez l'oursin, 517.
Œil, sa nature physique, 542, 544. — c'est un poil, 360 à 362. — limites de sa puissance pour la distinction des nuances, 371. — présence de la quinoïdine animale pendant et après la vie, 738. — proportion dans les lentilles et les humeurs, 739. — fluorescence sous l'influence de la quinine, 740. — absorption des rayons bleus de la lumière, 741. — fluorescence de ses diverses parties chez divers animaux, 741. — l'inflammation de l'un fait souffrir l'autre, 494. — chez les astéries, 824. — chez les oursins, 517.
Œsophage, 769. — ses mouvements dans la déglutition, rôle du système nerveux (pneumogastrique et grand sympathique), 754 et suiv. — contractions rhythmiques, 799. — rétrécissement, obstacle à l'alimentation, 584. — chez l'embryon d'oursin, 775.
Œstre, insecte, où il dépose ses œufs, 591.
Œuf, constitution physique et chimique, 30. — comme mode de reproduction, 702. — d'insecte, 588. — chez les oursins, 774, 776. — métamorphoses et développement chez la poule, les araignées et les insectes, etc., 734, 735. — vascularisation sous l'influence de la nicotine, 743. — *digestibilité*, 366. — *blanc d'œuf*, constitution chimique, 579.
Oie, 317. — carbone brûlé par la respiration, 376. — influence des éclipses, 647.
Oiseaux, analogie avec les reptiles, 769. — conformation, structure des divers estomacs, 769, 770. — digestion, 801, 802. — effets d'une alimentation sans matière calcaire, 579. — température intérieure, 413. — carbone brûlé par la respiration, 834. — chair pauvre en graisse, 579. — caractères et durée de la contraction musculaire, production du tétanos, 568. — fluorescence de l'œil, 741. — transmutation d'espèces, 694. — influence des éclipses, 647. — *fossiles*, 604, 605. — chair dans l'alimentation, 487.
Oléine, 577, 739.
Oléophosphorique (acide), 657.
Olivier, 256. — assimilation d'azote, 100. — réussira en Australie, 535.
Olivine, dans les météorites, 685.
Ombellulaire, 481.
Ombilicale (vésicule), chez le fœtus des oiseaux, mammifères et reptiles, 243.
Ondulations (théorie des), pour la lumière, 123, 124, 650. Voy. Lumière, Chaleur.
Opalescence de l'atmosphère, 815 à 819.
Opaline, infusoire de l'intestin de la grenouille, reproduction, 428.
Ophidiens, estomac, 769.
Ophiocome, 840.
Ophiure, 480. — *ophiurides*, 482, 484, 485, 516, 821, 837 à 840.
Ophthalmologie, création d'une chaire spéciale à la Faculté de médecine de Paris, 1.
Opium, action sur les animalcules réviviscents, 549.
Or, coloration bleue et rouge, 818. — transmission de la lumière à travers ce métal, coloration, 682. — température de fusion, profondeur où il est fondu, 250. — action catalytique, 62.
Or (trichlorure d'), action sur la quinine et la quinoïdine animale, 738.
Orchidées, 534, 536.
Oreillons, obstruction du canal de Sténon, 660.
Organes, formation, 315. — adaptation, transformations et atrophie, 316, 317. — solidarité chez les vertébrés, 317, 318. — corrélation, 695.
Organisation, 522. — base des classifications zoologiques, 428, 429. — unité de plan, 733, 734. — *êtres organisés*, caractères distinctifs, 426.
Organisme, ce qu'on entend par là, 700. — société de cellules vivantes, 700 et suiv.
Orgasme vital, 299, 300, 315.
Orge, végétation, gain d'azote, 96. — temps nécessaire à la maturation dans divers pays, 250. — action comparée sur cette culture de l'azotate de soude et du sel ammoniac, 132. — action de l'azotate de potasse, de l'urée, de l'acide urique, de l'urate de chaux, du chlorhydrate et de l'oxalate d'ammoniaque, 134. — action catalytique, 63.
Orseille, matière colorante, 372, 373.
Orthoptères, 735.
Os, soupes économiques de gélatine, leur valeur alimentaire, 578. — dans le bouillon, 487. — *tumeurs*, 607, 608. — carie, *nécrose*, 714. — *ostéogénie*, 243, 244.
Osmium, action catalytique, 62.
Ostrea bellovacina, huître fossile, 604.
Ostréiculture. Voy. Huîtres.
Ourcq (canal et eau de l'), 111, 113.
Ours, nourri avec du pain, 614.
Oursins, 480, 481, 483 et suiv., 837. — organisation générale, 515 à 520, 772, 776. — composition du *test*, 516, 517, 772. — lanterne d'Aristote (mastication), 518, 519. — appareil digestif, 519, 772. — appareil respiratoire, 519, 520. — circulation, 520, 773. — système nerveux, 773. — pédicellaires, 773, 774. — reproduction, 774 à 776. — développement de l'embryon, 775, 776. — se nourrissent-ils de terre? 615. — place dans le règne animal, 459, 460, 461. — rapports avec les astérides, 821, 822. — *fossiles*, 604. Voy. Échinides.
Ouvrier, ration alimentaire, 514. — hygiène, 656, 657. — ouvriers *ruraux*, 507.
Ovariotomie, 777.
Oxalates, de diverses bases, voy. au nom de chaque base. Ammoniaque (oxalate d').
Oxalique (acide), 739. — formation par dérivation de l'acide urique, 577. — peut dériver du sucre, 613.
Oxybenzoïque (acide), 652.
Oxygène, découverte par Scheele, 162. — absorption par le charbon de bois, 120. — action sur l'indigo, 371. — passage à travers le caoutchouc, 748. — dans les volcans de boue, 798. — insuffisant dans la lune pour oxyder tous les métaux, 686. — dans la pile galvanique, 809, 810. — dans l'air, action sur les animaux, 116, 117, 289. — nécessaire à la *vie*, 522. — dans les *végétaux*, assimilation, 189, 239, 240, 274, 275. — rôle dans la végétation, 101. — respiration des feuilles, dégagement, 31, 32, 100, — absorbé par les *animaux*, 413. — rôle dans la respiration, quantité nécessaire, quantité absorbée dans diverses circonstances, chaleur produite, 92, 93, 628, 629, 832. — dans la combustion respiratoire des aliments, 578, 579. — rôle nutritif, 615. — dans le sang, action, 5, 472, 368, 832. — dans les muscles, effets de la contraction, absorption, 625 à 627. Voy. Ozone et Antozone.
Oxyphénol, génération, 655.
Oxysalicylique (acide), 652. — transformation en oxyphénol, 655.
Ozone, modification allotropique de l'oxygène, son activité chimique détruit les matières organiques, moyens de l'obtenir, sa présence dans l'air, méthodes ozonométriques, influence sur l'état sanitaire, 1, 290 à 293, 749. — pouvoir rayonnant, 228 — rôle avec l'antozone dans les actions catalytiques, 62, 64.

Digitized by Google

P

Pachydermes, estomac, 771, 772.
Pailles, rendement du froment, du blé, des féverolles, des pois, 99.
Pain, 578. — digestibilité, 366. — dans l'alimentation, 514. — fabrication, composition chimique, 513. — consommation du pain à Paris, 513. — moyens de le remplacer, 513. — rapport de ses variations de prix avec le nombre des décès, des naissances et des mariages, 784-786. — pain municipal en cas de disette, 789.
Palæotherium, 79, 604.
Palæotragus, 77.
Paléontologie, est-elle distincte de la zoologie, 383.
Palerme (université de), cours, 176.
Palestine, sa température n'a pas varié depuis Moïse, 252.
Paleur, causes, 711.
Palmier, 189, 256. — fossile, 605.
Palmipèdes, 317. — estomac, 769.
Palmitine, 577, 739.
Pancréas, suc pancréatique, pancréatine, 48, 49, 352. — dégénérescence produite par l'anémie, 584.
Pancristallie, cause de la cristallisation des dissolutions sursaturées, 759.
Panopée, mollusque acéphale, 380.
Panse, estomac des ruminants, 800.
Panspermie, 759.
Papillons, 588, 736. — où ils déposent leurs œufs, 591.
Papin (marmite de), 142.
Papion, estomac, 771.
Paradoxale (contraction), 334.
Parallaxe des étoiles, rapport avec la grandeur et le mouvement propre, 667.
Paramécies dans le sang, 19.
Paramylène, 653.
Paraperptone, 805, 806.
Parasites (insectes) de l'homme, multiplication, 730.
Parasitisme, des tumeurs, 592.
Paratartrique (ac.), 825.
Paratonnerre, 345, 346, 394.
Paresseux, estomac, 772.
Pariétal, os fossile, 777.
Paris, son bassin géologique, 601 à 606. — cartes hydrologique et géologique, 602. — avantages de la position de Paris au point de vue physique et géologique, 602, 603. catacombes, anciennes carrières, 603. — divers animaux fossiles, 604, 605. — températures moyennes pour chaque saison, 175, 202. — hauteur barométrique, pression exercée sur le corps, 138. — les égouts tombent dans la Seine qu'ils empoisonnent en perdant les matières organiques fécondantes, 508. Voy. Égouts, Ourcq, Dhuis, Vanne, Seine, Eaux potables, etc. — consommation d'eau de Paris par jour, 513. — prix annuel du blé depuis 1724, rapport avec la mortalité, le nombre des naissances et des mariages, 782, 783. — faculté de médecine, programme des cours, 320, 808. — école de pharmacie, 336. — faculté des sciences, 72, 272, 846.
Parmesan (fromage), 471,
Parotide (glande salivaire), 352, 638. — sa sécrétion propre, rôle dans la mastication, différences de développement, 659. — propriétés physiques et chimiques de la salive parotidienne, 660. — la sécrétion est-elle permanente, 719. — influence du système nerveux, 721.
Parvoline, 653.
Passereaux, estomac, 769.
Paterno, volcan de boue, 794.
Pathologique (anatomie). Voy. Anatomie.
Pattes, au point de vue de la préhension des aliments, 352. — transformation en mâchoires chez les crustacés, 734,
Paupières, leur fermeture quand on veut toucher l'œil, 494.
Pavot, influence des éclipses, 646, 256.
Peau, exhalation d'acide carbonique et d'eau, 576. — poids chez le bœuf et le porc (boucherie), 485, 486.
Pébrine, maladie des vers à soie. V. ce mot.
Pécari, estomac, 772.
Peccantes (humeurs), 489.
Pecten jacobæus, mollusque acéphale, 380.
Pédicellaires, chez les oursins, 517, 773. — les astérides, 823. — les ophiures, 838.
Peigne, animal fossile, 604.
Pennatulaires, 482.
Pennatules, 302, 303, 481.
Pensée, effet mécanique, 159.
Pentacrine, 484.
Pentenique (ac.), 652. — de génération, 655.
Pepsine, substance active du suc gastrique, 46, 525, 804, 805. — préparation, 49.
Peptone, forme transitoire des aliments dans l'estomac, 804, 805.
Perce-oreille, 735.
Percussion, 765.
Péribuccales (plaques), chez l'oursin, 517.
Péricarde, 764.
Péristaltiques (mouvements), dans l'estomac, 799.
Péritoine, cancer, 611, 612.
Perles, formation, 731.
Pérou, le littoral s'élève, 405, 478,
Pesanteur, diminution à l'équateur, 58, 59.
Peste, 716.
Pétrissage du pain, 513.
Pétrole, coulées intermittentes, 749. — dans les volcans de boue, 794. — gisements divers, 796, 797.
Peuplier (feuilles de), comme engrais, richesse en azote, équivalent, 134.
Phanère, 360 à 362.
Pharaon (serpents de), 192.
Pharnyx (liquide du), 45.
Pharmaciens, 748.
Phénile, Phénétol, 651.
Phénique (ac.), emploi dans la teinture, 374.
Phénols, action de l'ac. benzoïque en présence du potassium et du sodium, 655. — dans la série aromatique, mode de génération, 652, 654, 655.
Phénylène, 651.
Philodines, réviviscence, coloration, 549.
Phlogistique (théorie du), 126.
Phloroglucine, 652.
Phoque, glandes salivaires très réduites, 658. — glandes parotides, 659.
Phosphates dans les végétaux, 189, 190. — dans le blé, 513. — dans l'alimentation, 579, 615. — dans le fromage de Roquefort, 472. V. au nom de la base de chaque phosphate : Chaux, Magnésie.
Phosphomolybdique (ac.), action sur la quinine et la quinoïdine animale, 738.
Phosphore, modifications allotropiques, 291. — oxydation, produit de l'ozone et de l'eau oxygénée, 291. — dans les végétaux, 189. — (perchlorure de), densité de vapeur, dissociation, 521. — génération des aldéhydes par la réduction des acides, 655.
Phosphorescence, 545.
Phosphorique (ac.), quantité dans la luzerne, 98. — dans la terre végétale, 102. — dans l'urine, augm. dans l'inanition, 430, 582.
Phosphoroscope, 545.
Photographie, histoire, commerce, 395, 396. — *en couleur*, 761.
Photosphère du soleil, constitution, 619, 620. — éclat constant, phénomènes chimiques qui l'expliquent, 681, 682.
Phrénologie, 497.
Phthisie pulmonaire, 861. — inoculation, nature, 17, 793.
Phyllosome, larve de la langouste, 369, 427,
Physe, animal fossile, 604.
Physiologie, 750. — dynamique animale, 170. — base de la médecine, 81 à 88. — application de la théorie dynamique de la chaleur, 832 à 835.
Physionomie, 392, 393.
Physiques (états) des corps. Voy. États.
Physogastres, 482.
Physolie, 460, 480.
Picotine, 653.
Picrique (ac.), emploi dans la teinture, 374.
Pieds de bœuf, poids, 485.
Piéride du chou (lépidop.), développ. 734.
Pierre, objets de cette nature provenant de l'industrie des premiers hommes, 623.
Pigeon, estomac, sécrétion lactée, 769, — nourri avec de la viande, 614. — température intérieure, 413. — n'est pas infecté par la trichine, 488. — influence des éclipses, 647.
Pikermi (animaux fossiles de), 74 à 81. — aspect des fouilles, 75. — rapport des herbivores et des carnivores fossiles, 77.
Pile galvanique, 394. — phénomènes chimiques qui s'y produisent, 810 à 812. — travail interne et externe, équivalence, 810 à 812. — chaleur développée, 811.
Pile musculaire, 332.
Pin, dimensions, longévité, 188. — produit résine et térébenthine, 140.
Piquants ou baguettes des oursins, 483.
Piridine, 653.
Planariées, 482.
Plan-concave (lentille), 563, 564.
Plan-convexe (lentille), 528, 529.
Planètes, première idée de leur circulation autour du soleil, 636. — lois de leurs mouvements, 211, 212. — *petites planètes*, 684. — planètes *inférieures à Mercure*, 684.
Plantes, distribution géographique, 716.
Plaques sonores, lignes nodales, 569.
Plasma du sang, 368. Voy. Sang.
Plasmine, matière conten. dans le sang, 576.
Plastique (lymphe). Voy. Lymphe plastique.
Plastiques (aliments), 351, 368, 512, 577, 578, 613, 656.
Platane, dimensions, longévité, 188.
Platine, action catalytique, explic., 62, 120.
Platine (bichlorure de), action sur la quinine et la quinoïdine animale, 738.
Platre, son action absorbante sur les vapeurs ammoniacales des fumiers, 120. — engrais, 387, 508, 603. — *Pierre à plâtre*. Voy. Gypse.
Plésiosaure, reptile fossile, 605.
Plomb (acétate de), sursaturation prise en masse, 760. — (azotate de), son emploi en teinture, 370. — (chromate de), emploi en teinture, 370.
Plombagine, 168.
Plumatelles, 462.
Pneumogastrique (nerf), influence sur les mouvements de l'œsophage dans la déglu-

Digitized by Google

tition, 754 et suiv. — ses anastomoses avec divers nerfs, 754, 755. — action sur les contractions du gésier, 800. — sur l'estomac, 807. — sur les glandes salivaires, 721. — *dégénérescence*, effets sur le cœur, les poumons, la circulation, les globules, 658.
Pneumonie, altération anatomique, 762, 763. — infl. sur la chaleur intérieure, 415.
Poil, fibres-cellules à sa base, 710.
Pois, végétation, gain d'azote, 96. — rendement, 99, 101. — servent à fabriquer du fromage, 472.
Poisons indiens, 140.
Poissons, n'ont pas de glandes salivaires, 658. — appareil digestif, 768, 769. — suc gastrique, action de la chaleur, 806. — température intérieure, 413. — caractères et durée de la contraction musculaire, 568. — *chair* comparée à celle du bœuf, azote contenu, riche en graisse, 486, 479. — *dents fossiles*, 604. — *graisse de poisson*, emploi pour l'alimentation dans les régions polaires, 513. — *poissons électriques*. Voy. Électriques (poissons), *gymnote*, *malaptérure*, *raies*.
Poitrine (plaies de), comment l'air pénètre, effets sur les poumons, 136.
Poivre dans l'alimentation, 514. — excite la sécrétion gastrique, 803.
Polaires (régions), matières aliment., 513.
Polarisation, lumière et chaleur polarisée, 398, 399, 539. — action des diverses peptones, 805. — *polariseur*, 399.
Polarisation électrique. Voy. Électrique.
Pôle, sa température moyenne, 175. — température pendant ses nuits, 202.
Polynésiennes (races et migrations), 825.
Polypes, leur place dans le règne animal, 459, 460, 461. — classification par la méthode dichotomique, 302 à 304. — nutrition, 753. — reproduction, 702. — *Polypiaires*, 482. — *Polypier*, mode de développement, 269, 270. — chez les actinies, 267 à 269. — *Polypiers*, récifs et îles qu'ils construisent dans l'océan Pacifique, 478, 479. — tumeurs, 593.
Pomme de terre, origine, histoire, culture, constitution chimique, 101, 190. — fixation d'azote, 68. — carbone contenu, 233. — carbone fixé, 234. — action catalytique, 63, 64. — production et consommation, 397. — digestibilité, 366. développement d'acariens, 744.
Ponce (pierre), dans les volcans de boue, 795.
Porc, estomac, 770, 771, 772. — carbone exhalé par la respiration, 376. — a des trichines, 488. — nourriture des esclaves dans l'Amérique du Sud, 514. — décomposition de son poids (charcuterie), 486. — *excréments* comme engrais, richesse en azote, 134.
Porcelaine, fabrication, 731.
Poreux (corps), absorbent les gaz, 120.
Porpite, 480.
Potasse, décomposition par la pile électrique, 394. — n'a pas d'action sur l'organe électrique de la torpille, 727. — action sur la végétation, 275, 276. — quantité dans la luzerne, 98. — dans les végétaux, 189. — dans la salive, 660. — action sur la sécrétion sous-maxillaire, 661. — *Sels de potasse* dans les eaux mères des marais salants, 396. — dans le suc gastrique, 367. — (*acétate* de), action sur l'ac. chlorhydrique, 654. — (*azotate* ou nitrate de), action sur diverses cultures, 132, 133, 134. Voy.
Salpêtre. — (*bicarbonate*) dans la salive, 660. — (*bichromate* de), réaction sur l'aniline, 374. — (*carbonate* de), dans l'urine, 430. — (*chlorate* de), dans la salive, 660; dans la poudre, 825; élimination, 664. — (*chromate* de), en teinture, 370. — (*formiate* de), énergie potentielle, 689. — (*lactate* de), dans l'urine, 430. — (*permanganate* de), action sur la quinine et la quinoïdine animale, 738. — (*phosphate* de) dans les muscles, 625. — rôle dans l'alimentation, 579. — (*prussiate jaune* de), son emploi dans la teinture, 370. — élimination par la salive, 664. — (*sulfate* de) dans l'urine, 415, 430.
Potassium (*chlorure* de) dans le suc gastrique, 803. — (*iodure* de), action sur la quinine et la quinoïdine animale, 738. — (*sulfocyanure* de) dans la salive, 660, 662, 663. — (*ferrocyanure* de) dans la poudre, 826.
Poteries, fabrication, 603. — industrie des premiers hommes, 623.
Poudre a canon, moyen d'éviter les explosions, 826, 827. — nouvelles substances pour la remplacer, 825 à 829.
Poulain, développement, 432.
Poulet, Poule, chaleur extrême qu'il peut supporter, 414. — divers estomacs, gésier, 769, 770. — nourrie avec de la viande, 614. — dualité primitive du cœur, 761. — fer dans le sang, 368. — composition de l'urine, 430. — n'est pas infecté par la trichine, 488. — métamorphoses de l'œuf pendant les cinq premiers jours de l'incubation, 734. — infl. des éclipses, 647.
Pouls, affaiblissement sous l'action de la quinine, 740.
Poumon, 375, 413, 833. — exhalation d'ac. carbonique, 576. — inflammation occasionnée par des points de côté, 494. — fonctions excrétoires, 51, 52, 580. — rétractilité, 136. — proportion de quinoïdine animale, 739. — cancers de ses vaisseaux lymphatiques, 611, 612. — de bœuf, poids, 485.
Pourpre, comme matière colorante, influence de la lumière sur sa formation, 372.
Pourriture des fruits, causes, 761.
Prairie naturelle, action du sulfate d'ammoniaque et de l'azotate de soude, 132. — assimilation d'azote, 100.
Pression, influence diverse sur les réactions chimiques, 689.
Présure, 431.
Priapule, 481.
Primates, plis cérébraux, 390, 391.
Prisme, action sur les radiations lumineuses et calorifiques, 541.
Prisonniers, ration alimentaire, 514.
Propres (vaisseaux). Voy. Vaisseaux propres.
Protagon, matière des centres nerveux, 667.
Protubérances du soleil dans les éclipses, 644, 645.
Prusse, affaissement de ses rivages sur la Baltique, 405, 477, 478.
Prussiates. V. au nom de la base, Potasse, etc.
Prussien (fusil), 585. — (soldat), ration alimentaire, 514.
Prussique (ac.), 167.
Psychodiaires, 482.
Pthalique (ac.), 651, 653. — action des alcalis, 654.
Ptyaline, substance active de la salive, 44, 660, 662. — mode d'extraction, 49. — dans la salive sublinguale, 661.
Pucerons, reproduction, 426, 732. — rapports de domesticité avec les fourmis, 263.
Pulmonaire (respiration), mécanisme et conditions de bon accomplissement, 95.
Punaises, 588.
Purgatives (substances), exercent la sécrétion gastrique, 803.
Pus, formation, transport, infection, 715.
Putréfaction de la viande, moyen de l'empêcher, 487,
Pylore, sa contraction pour empêcher les aliments de sortir de l'estomac, 799. — rétrécissement, obstacle à l'aliment., 584.
Pyrénées, altitude de la région des neiges perpétuelles, 175. — âge, 406.
Pyrocatéchine, 651, 652.
Pyrogallol, 652. — génération, 655.
Pythagoriciens, admettent la circulation des planètes autour du soleil, 636.

Q

Quadrumanes, estomac, 771.
Quartz, action sur la fluorescence de la quinine et de la quinoïdine végétale, 738.
Quaternaire (période géologique), oscillations de l'écorce terrestre pendant sa durée, 473 à 480.
Quinine, durée du passage à travers l'organisme, 737, 738, 739, 740. — fluorescence, 737, 740. — absorption des rayons fluorescents, 737. — action favorable et défavorable sur l'organisme, surdité, prostration, affaiblissement du pouls, mort, 740. — guérison de la fièvre, comment elle s'explique, 740. — (*chlorure* de), 737. — (*sulfate* de), transforme les rayons invisibles du spectre en rayons visibles (fluorescence), 545.
Quinique (ac.), 653.
Quinoïdine animale, substance fluorescente analogue à la quinine trouvée dans les tissus des animaux, 738 à 741. — manifestations de sa présence dans l'œil vivant ou mort, 738. — action de l'éther, 738. — du quartz, 733. — du permanganate de potasse, 738. — des iodures de mercure et de potassium, 738. — de l'ac. phosphomolybdique, 738. — du bichlorure de platine, 738. — du trichlorure d'or, 788. — proportions contenues dans les divers organes, 739. — transformation en albumine, 740. — fièvres paludéennes, 740.
Quinon, 652.
Quinquina, 535.
Quito, altitude, pression, température d'ébullition de l'eau, cuisson des viandes, 487. — hauteur barométrique, 138.

R

Rachitis, influence sur l'urine, 416.
Racines, causes de leur direction, 102, 244. — influence des diverses couleurs, 249.
Radiaires, 459. — évolution circulaire, 776.
Radiation solaire, 537 à 546.
Rage, 766.
Raie, appareil digestif, 769. — appareil électrique, 724.
Raies du spectre des étoiles, déplacement si la distance de l'étoile varie, 671. — *raies telluriques* du spectre solaire, 633.
Rainures de la lune, 409.
Raisin (marc de), comme engrais, richesse en azote, équivalent, 134.
Rat, estomac, tendance biloculaire, 771. — salive, 633.
Rate, extirpation et greffe, 682. — propor-

Digitized by Google

tion de quinoïdine animale, 739. — rôle dans la formation du sang, 94.
Ration alimentaire normale, 514, 579 à 581.
Récolte, influence de son abondance, 505, 506. — causes qui la font bonne ou mauvaise, 510. — influence des taches du soleil, 510. — variations dans des localités déterminées, 510.
Recrutement, au point de vue agricole, 788.
Réflexes (actes et actions), 489, 490, 494, 719.
Réflexion de la lumière, de la chaleur et des rayons chimiques, ses lois, 410 à 425, 538, 539.
Réfraction de la chaleur, de la lumière et des rayons chimiques, 539, 586. — indices, 418. — lois, formation des images, 452 à 456 et 463 à 468. Voy. Lentilles. — dans l'atmosphère solaire, 289, 586. — *double réfraction*, cristaux mono- et biréfringents, 400, 539.
Régélation de la glace, 441 et suiv.
Régime nutritif normal, 581.
Régulateur à force centrifuge dans les machines à vapeur, 149.
Régurgitation, facile chez les enfants, 799.
Reine-des-prés (essence de), 651.
Reins, 415.—proportion de quinoïdine animale, 739.—fluorescence sous l'influence de la quinine, 740. — élimine l'azote de l'économie, 577.
Reka, nouv. île volcanique. Voy. Santorin.
Religion, influence des progrès des connaissances naturelles, 187.
Rénale (artère), 415.
Rénille, 481.
Rénne fossile, 605.
Reproduction, 521.— chez les insectes, 729, 730 et suiv. — chez les pucerons, 732.— chez les oursins, 774-776. — les astéries, 824. — les comatules, 842. — les holothuries et les synaptes, 845.
Reptiles, n'ont pas de glandes salivaires, seulement glandes buccales, 658. — estomac, 769. — analogie avec les oiseaux, 769. — température intérieure, 413. — pourquoi nombreux en Irlande, 750. — influence des éclipses, 647.— *Fossiles*, 605.
Requin, température intérieure, 413.
Résine dans le thé, 515.
Résineuse (séve), 140.
Respiration des animaux, 472.— phénomènes physico-chimiques, combustion, chaleur animale, carbone brûlé, quantité d'air nécessaire, 375, 376, 377, 522. — rôle des globules du sang, 12 à 14. — influence sur la composition de l'air, 116. — effet sur les muscles, 626. — effets de la dégénérescence des nerfs sympathique et pneumogastrique, 658. — modifications dans les ascensions de montagnes et en ballon, 137, 138. — des chenilles, 732. — *Appareil respiratoire* chez les oursins, 519, 520. — chez les astéries, 823, 824. — chez les ophiures, 839. — chez les holothuries et les synaptes, 844. — chez les insectes, 736. — *Combustion respiratoire*, 375, 413, 613, 832 et suiv. — *Mouvements respiratoires*, centre dans la moelle allongée, 495.— rapidité chez l'homme et divers animaux, à divers âges et dans diverses conditions, 375.
Respiration des feuilles, influence de la chaleur et de la lumière, 30 à 32, 100, 101, 234 à 238.
Respiratoires (aliments), 351, 368, 512, 577, 578, 613, 614, 656. — ne suffisent pas seuls, 368.
Réviviscents (animaux), 546 à 549.
Rhinocéros fossile, 78, 79. — à narines cloisonnées, 605.
Rhizopodes, cavité digestive adventive, 524. nutrition, 753.
Rhumatisme, 715.
Rhumkorf (bobine de), applications à l'artillerie, 395.
Rigidité cadavérique des muscles, cessation de l'absorption d'oxygène, 625. — coagulation du suc musculaire, 625. — ce n'est pas une contraction, mais une coagulation, 627. — résulte de la suppression du sang; moyens de la produire 627.
Rire, mécanisme réflexe, 494.
Rivages, changement graduel dans divers endroits, 750.
Riz, base de l'alimentation en Asie, 513.
Roches, absorbent lentement l'eau des océans, 407, 408. — diminution de volume à la congélation des roches fondues, 408.
Rome, mesures pour alimenter les armées et les grandes villes, 778, 779. — approvisionnement d'eau, 114.
Rongeurs, estomac, 761.
Roquefort (fromage de), fabrication, causes de sa supériorité, moisissures, composition chimique, roquefort artificiel, 471.
Rosaniline, 653.
Roseaux, comme engrais, richesse en azote, équivalent, 134.
Rossignol, moins musical que l'âne, 497.
Roti en Amérique, 487.
Rotifères, leur place dans le règne animal, 459. — dessiccation, réviviscence, 546.— durée de la vie, 548.
Rouge, chaleur correspondante, 541. — de parfumeur, altération sous l'influence du gaz, 760. — (*verres*), ne laissent passer qu'une seule couleur, 542,
Rougeole, influence sur la chaleur intérieure, 415.
Rougeur, causes, 711.
Rue (essence de), 652.
Ruminants, glandes parotides, 659. — estomac, 772. — *Rumination*, 800, 801.

S

Sable, quantité contenue dans la luzerne, 98. — amendement des terres, 603.
Sagartia, genre d'actinies, 268.
Saint-Bernard (mont), altitude, pression, température d'ébullition de l'eau, cuisson des viandes, 487.
Saint-Elme (feux) aigrettes électriques, 342.
Saint-Pétersbourg, températures moyennes, 175, 202.
Saisons, 251. — variations de leur chaleur d'après la distance du soleil, 691.
Salaires dans les travaux agricoles, 507.
Salamandre, développement de la colonne vertébrale chez le têtard, 244 — régénérat. des membres extirpés, conditions, 745.
Salants (marais). Voy. Marais salants.
Salerne (école médicale de), 40.
Salicylique (acide), 652. — transformation en ac. gallique, 655. — en phénol, 655.
Saligénine, 651.
Salivaires (glandes), structure, anatomie comparée, 44, 352, 658, 659.
Salive, 352. — sécrétion, 658, 659, 718 à 722. — distinction en trois espèces, 44, 45, 659. — salive parotidienne, densité, réaction, matières contenues, propriétés physiques et chimiques, 659, 660. — salive sous-maxillaire, usage dans la gustation, 660 661. — salive sublinguale, usage pour la déglutition, composition, 661. — infusion des glandes salivaires, 661, 662. — salive mixte; ptyaline, transforme l'amidon en sucre, 662, 663. — sulfocyanure de potassium, 662. — quantité sécrétée, 663, 664. — rôle éliminatoire, épuration du sang, iode, 664. — nature, 719. — excrétion, 719. — existe-t-elle dans le sang, 719. — sécrétion permanente avec certaines rémittences, 719. — rôle du système nerveux, 44, 45, 413, 493, 712, 719 722. — mécanisme de sa sécrétion, 741 et suiv.— effets du curare, 753. — fonctions physiologiques chez divers animaux, rôle dans la digestion, 451, 753, 754. — rôle dans la mastication et la déglutition, 753.—introduction d'air dans l'estomac, 753.—continue son action dans l'estomac, 801, —sécrétion quand la langue est impressionnée, 494. — *action catalytique*, 63.
Salpêtre, dans la poudre à canon, 825.
Sang, 4 à 15, 18-28, 832.—transfusion, 87.— vie, 90 à 95. — analyse, 368. — plasma, parties solides, 4. — réaction alcaline, 4. — sang artériel et veineux, 4. — eau, 4. —gaz, 5, 10.— fibrine, sa coagulabilité et ses tranformations, 5, 6. — albumine libre et combiné, 6, 7. — autres substances albuminoïdes, 7.— diastase, 7. — sucre, son origine, 7. — le sang, produit de sécrétion, 8. — matières grasses, 8, 13.— urée et substances analogues, 8, 9.—matières terreuses. — globules rouges, volume, nombre, constitution, origine, destruction, 10 à 12, 91 à 93, 700, 730. — origine, fonctions, empoisonnement, 12 à 14, 92-95.—analyse par l'oxyde de carbone, 14.— granulations moléculaires, 14.—globules blancs, 14, 18. — hématozoaires, 19, 20. —communications des systèmes sanguins, 19, 20. — circulation du sang, grande et petite, cœur, artères, veines, capillaires, son mécanisme, 21 à 28, 92, 375, 525.— influence du grand sympathique sur la circulation, 495, 742.— afflux produit par l'excitation des éléments anatomiques, *vis a fronte*, 743. —sa pression dans les vaisseaux d'une glande est moins forte que la pression dans la glande elle-même, 744. — coloration, sang artériel et veineux, 375. — rôle de l'acide carbonique et de l'oxygène, transformation artificielle du sang, 376, 472. — proportion de quinoïdine animale, 739. — fluorescence sous l'influence de la quinine, 740.— fer contenu, 363. —ac. carbonique contenu, effets de la contraction musculaire, 626. — s'altère sous l'influence de la fatigue musculaire; c'est cette altération qui rend la contraction impossible, 626, 627. — influence sur l'irritabilité et l'oxydation des muscles, 627. — sa suppression produit la rigidité cadavérique, 627. — son injection fait renaître la vie dans les membres amputés, 522. — modifications dans l'inanition, 581, 582. — rapport de son poids au poids total de l'animal, 582. — poids chez le bœuf (boucherie), 485, 486.— circulation et globules, effets de la dégénérescence des nerfs sympathiques et pneumogastriques, 658.—influence sur la production de l'électricité chez les poissons électriques, 726. — son alcalinité préserverait l'estomac de l'action du suc gastrique, 808. — hématologie pathologique,

Digitized by Google

765. — présence de cellules cancéreuses, 612. — ses altérations comme cause de tumeurs, 607 et suiv. — production d'infusoires par sa putréfaction, 633. — circulation chez les crustacés et les insectes, 736. Voy. Circulation, — comme engrais, richesse en azote, équivalent, 132, 134.
Sangsue, annélide, 587.
Santorin (îles), éruptions volcaniques, île nouvelle, 417, 478, 553 à 558, 728.
Sapin (sciure de) comme engrais, richesse en azote, équivalent, 134.
Saponification, 256.
Sarcome, tumeur molle ou charnue, 592.
Sarcosome, 270, 271.
Sarigue fossile, 665.
Sarkine dans la chair muscul., 486, 626, 656.
Sarrazin, végétation, gain d'azote, 96.
Saturne, 402.
Saule (chenille du), anatomie, 732.
Sauterelles, 588, 735.
Scandinavie, dépôts coquilliers, affaissement avant l'époque actuelle, aspect des plaines et faune tertiaire, 473, 474. — s'élève continuellement, 465.
Scanie, s'affaisse continuellement, 465, 477.
Scarabées, insectes, 588, 736.
Scares, rumination, 800.
Scarlatine (fièvre), action de la belladone, 288.—influence sur la chaleur intér., 415.
Schèele (vert de), applicat., dangers, 166.
Sciences, progrès, 682 et suiv.—nécessité de les étudier de bonne heure, 683. — applications; emploi futur des savants par la nation, 683.— *Langage scientifique*, emprunt de radiaux étrangers, 697. —*Sciences spéculatives*, utilité, 393 à 397. —*Sciences naturelles*, leur développement national, 156 à 160. — centre de la nationalité allemande, 156. — commencent à la Réforme, 157. — l'association des naturalistes allemands, son caractère, 158. — rôle social et leur influence sur la marche de l'esprit humain en politique et en religion, 159. — leurs rapports et leur unité, 159. — indépendance de toutes les sciences, 160. — le morcellement des sciences naturelles comparé aux petits États d'Allemagne, 160.
Scorbut, 514.
Scorpion, système nerveux, 491.
Scrofule, 86, 94. — chez les animaux fossiles, 714.
Scutelles, 484.
Secousse musculaire, forme, 407. — conditions qui la modifient, influence de la fatigue, 410, 411. — induite par la systole du cœur, 567, 568. — musculaire, fusion partielle ou complète, 549, 550, 551.
Sécrétions, 41 à 56. — théorie générale et définition, 41, 42. — accrémentitielles et excrémentitielles, 42, 43. — digestives, leur préparation artificielle, 42, 43. — digestion, 43 à 51. — salive, ses diverses espèces, influence du système nerveux sur sa production, 44, 45. — liquide du pharynx, 45. — suc gastrique, 45, 46. — liquides de l'intestin, 46, 47, 50, 51. — bile, excrétion, 46 à 48, — suc pancréatique, 48, 49.— chaleur nécessaire à la digestion, 49. — digestion après la mort, 49. — pourquoi l'estomac ne se digère pas lui-même, 50. — glandes de Brunner, 50. — liquide du cæcum, 50, 51. — alternance des réactions le long des voies digestives, 51. — excrétions, 51 à 53. — exhalation pulmonaire, 51 à 52. — sécrétion du lait, du fluide séminal, de l'œuf, 52, 53. — sécrétion lactée du jabot du pigeon, 53. — sécrétions internes, 53 à 56. formation du sang, 54.— sécrétion du sucre dans le foie, 55, 56. — mécanisme de leur production, rôle du système nerveux, 712, 741 à 744. — action du curare, 753.
Seigle, récolte dans l'air pur et dans l'air ammoniacal, azote contenu, 131, 132.—pour l'alimentation, 513.
Seine (eau de la), 109.— leur état à Chaillot, alimentation de Paris, 112.
Seins, tumeurs, amputation, 610.
Sélénium, action de l'ac. sulfurique, production de liquides colorés, 819.
Sel marin, dans l'air, 295. — dans le bouillon, 487.—dans l'alimentation, 514. Voy. Sodium (chlorure de).
Semnopithèques (singes), estomac, 771.
Sensibilité, 315, 497. — *Animaux sensibles*, 319.
Sensitifs (nerfs et racines), 490, 493.— centre de nutrition, 657.
Série animale, 318, 360, 362 à 365.
Sermon laïque, 183 à 187.
Serpent, rôle de la salive dans la déglutition, 753. — glandes labiales, 658. — composition de l'urine, quantité d'aliments, 430. — pourquoi symbole de la médecine, 497.
Serpentine, dans les météorites, 685.
Serres, comment il faudrait les construire pour qu'elles servent aux progrès de la physiologie végétale, 533, 534.
Sertularies, 482.
Séve, 103. — ascendante et descendante, densité, circulation, composition, diverses espèces de séves, 138 à 140. Voy. Gommeuse, Résineuse, Sucrée (séve), Hevea, Carica papaya, Canne a sucre, etc.
Sexes, sorte de dimorphisme, 590. — chez les oursins, 774. — *abus sexuels*, 657.
Sicile, volcans de boue, 793, 794.
Silex taillés, industrie des premiers hommes, 623, 624, 695. — date, 749.
Silice, quantité dans la luzerne, 98. — dans l'urine, 415, 430.
Silicium (chlorure de), rôle dans les éruptions volcaniques, 728.
Silos, pour la conservation des grains, 788.
Simoun, doit ses effets à l'ozone, 293.
Singes, anatomie comparée du cerveau, 390. plis cérébraux, 390, 391. — développement comparatif du cerveau avec celui de l'homme, 391. — estomac, 771. — influence des éclipses, 647. — *singe fossile* de la Grèce, 78.
Siphonophores, polypes, mode, multiplication, individualité, 702, 703.
Siponcle, 480, 481.
Sirène, 125.
Siricidæ, insectes, leurs larves, 589.
Sirius, étoile, mouvement propre, 667. — perturbat., une planète, ses phases, 670.
Sitaris, scarabée parasite de l'abeille, ses mœurs, 589.
Sodium, métallurgie, 396. — sa présence dans les flammes éclairantes leur communique la propriété de modifier les couleurs, 222. — dans le soleil et autres astres, 404. — dans les étoiles filantes, 747. — dans les érupt. volcaniques, 728.
Sodium (chlorure de), décomposition par la vapeur d'eau à une température élevée, 728. — action sur la fluorescence de la quinine, 737. — de la quinoïdine animale, 738. — dans les éruptions volcaniques, 557. — dans l'alimentation, 57[illegible] — dans la salive, 661. — dans le s[illegible] gastrique, 367, 803. — dans l'urine, 41[illegible] 430. Voy. Sel marin.
Soie, teinture, 370. — des araignées, 7[illegible]
Solaire (radiation), 537 à 546. — effets [illegible] ses divers rayons sur la coloration [illegible] plantes, 534.
Soldat, ration alimentaire, en France, [illegible] Hollande, en Prusse, dans la marin[illegible] 514.
Soleil, idée qu'on s'en faisait autrefois 684. — c'est une étoile périodique, 61[illegible] — mouvement propre de translatio[illegible] 668 et suiv. — constitution de la photo[illegible]phère, agitation, 619, 688. — atmo[illegible]phère, hauteur, réfraction, 289, 586. - raies telluriques de son spectre, 633. - éclipses, 634 à 648. — diamètre, di[illegible]tance à la terre, 639. — grains de chap[illegible]let, franges obscures et déformations d[illegible] bords du disque dans les éclipses, 64[illegible] — protubérances dans les éclipses, 64[illegible] 645. — tables du soleil, 645. — éc[illegible] constant de la photosphère, phénomène[illegible] chimiques qui l'expliquent, 619, 62[illegible] 681, 682. — origine de cette chaleu[illegible] percussion d'astéroïdes et étoiles filante[illegible] 688, 830. — chaleur envoyée à la terr[illegible] constance, 251, 252. — chaleur produit[illegible] dans la lune, 747. — intensité de la lu[illegible]mière directe comparée à celle de la lu[illegible]mière diffuse, 816, 817. — coloratio[illegible] bleue, 819. — intensité de son attra[illegible]traction, poids des corps à sa surface, 830 — masse, 830. — cause des courants ma[illegible]ritimes et des vents alisés, 831. — *taches du soleil*, mouvements, lois, 121, 688.— rapport avec le magnétisme terrestre, 649 688. — avec la beauté de la récolte, 510
Solferino, couleur rouge, 374.
Son, 569 à 576. — comparé à la lumière e[illegible] à la chaleur, 124, 125 et suiv. — vitess[illegible] de sa propagation, 124. — 569 à 576. — étude des vibrations, méthodes graphique, optique, et des flammes manométriques, 569 à 575. — interférences sonores, 197. — analogie avec les couleurs, 125, 126. — détermination de leurs nombres de vibrations, 125.—sensibilité de l'oreille. 125, 126. — principaux intervalles, 125 — transmission des vibrations de l'air au[illegible] corps solides, 129. — variation de la hauteur avec la distance du corps son., 671.
Soude, décomposition par la pile électrique, 394. — dans les volcans de boue, 798. — dans les végétaux, 189.— dans la luzerne, 98. — dans la salive, 660. — excite cette sécrétion, 719.
Soude (acétate de), 758.—sursaturation, 759.
Soude (arséniate de), action sur les animalcules réviviscents, 549.
Soude (azotate de), action sur le développement des végétaux, 132.—dans la poudre, 825.
Soude (carbonate de), sursaturation, 759.
Soude (lactate de), dans l'urine, 430.
Soude (phosphate de), sursaturation, 760. - dans l'organisme, 739. — dans le san[illegible] 368. — dans la salive, 661. — l'urine, 41[illegible].
Soude (sulfate de), dans les eaux mères des marais salants, 396. — sursaturation, 296, 758, 759. — action sur le chlorure de quinine, fluorescence, 737. — dans l'urine, 415.
Soude (tungstate de), rend les étoffes incombustibles, 396.

Digitized by Google

CFRE, gisements, propriétés physiques, fabrication, usages divers, consommation, rôle dans la nature, etc., 190 à 192. — modifications allotropiques, 291. — équivalent calorifique, 809. — opalescence, intercepte les rayons chimiques, 818, 819. — coloration bleue et rouge de la lumière transmise, 819. — présence dans l'atmosphère, 819. — dans les éruptions volcaniques, 557. — dans les végétaux, 189. — dans la poudre, 826.
DLÈVEMENT des côtes (théorie du), 750.
DLÈVEMENTS de montagnes, 797.
DUPES économiques, de gélatine d'os, leur valeur alimentaire, 578.
DRCE (eau de), supérieure à l'eau de rivière comme eau potable, 110.
DRIS, salive, 663.
DS-MAXILLAIRE (ganglion sympathique), relation avec la glande sous-maxillaire, 742. — action sur la glande sous-maxillaire, 493.—centre d'act. réflexes dans la sécrét. de la glande sous-maxillaire, 720, 722.
DS-MAXILLAIRE (glande salivaire), 352, 658. — sa sécrétion propre, 659. — usage de cette salive pour la gustation, excitation de la sécrétion, anatomie comparée, 660, 661. — sécrétion permanente, 719. — mécanisme de la sécrétion chez le chien, 720 et suiv. — influence du système nerveux, mécanisme de la sécrétion, 493, 741 et suiv. — action du curare, 753. — peut encore sécréter après la ligature de son artère, 727.
PATANGUE, 480, 484, 837. — *Spatangoïdes*, 819, 820, 821.
PECTRALE (analyse), 670. — prouve que la constitution chimique des astres est analogue à celle de la terre, 403, 404. — étoiles et comètes, 685, 686.
PECTRE solaire, raies, 542. — absorption des diverses radiations, 543, 544.— transformation des rayons invisibles en rayons visibles (fluorescence), 545. — au point de vue lumineux, calorifique et chimique, 541, 542. — action des diverses couleurs sur la direction des tigelles et radicules, 249. — *Spectre des étoiles*, déplacement des raies quand la distance de l'étoile varie, 671. Voy. ÉTOILES.
PÉCULATIVES (sciences), utilité, 393 à 397.
PERMATOZOÏDES, 207, 300.
PHEX, insecte, mœurs, reproduction, 428.
PHINX du troène, développement du système nerveux, 736.
PICULES, 520. — du corail, 270, 271.
PINAL (nerf), anastomoses avec le pneumogastrique, influence sur les mouvements de l'œsophage dans la déglutition, 754 et suiv. — action sur l'estomac, 807.
PITZBERG, exhaussement du sol, 477.
PONDYLUS SPINOSUS, fossile de la craie, 604.
PONGIAIRES, 482.
PONTANÉE (génération), Voy. GÉNÉRATION.
PONTANÉS (actes), 489.
PORE, organe de reproduction, 461.
QUIRRHES, tumeurs, 593, 606.
TAPHYLINS, insect. ennemis des fourmis, 265.
TÉARINE, 577, 739. — formation et décomposition, 690. — comme aliment, 579. — *acide stéarique*, 657.
STÉATITE alimentaire, aliment minéral, 645.
STÉATOMES, tumeurs, 593.
STELLÉRIDES, 480, 482, 516, 821. Voy. ÉCHINODERMES.
STENON (canal de), 658, 660.
STÉPHANOMIE, 480.
STÉRILITÉ de la femme, 87.
STOMACALE (digestion), 799 à 800.
STROMBOLI, phénomènes volcaniques, 723.
STRYCHNINE, 738. — effets de l'empoisonnement sur l'irritabilité musculaire, 626.
STYROL, 651, 652. — formation, 654. Voy. CINNAMÈNE.
SUBLINGUALE (glande salivaire), 352, 658. — sécrétion permanente, 719. — rôle du système nerveux dans la sécrétion, 721. — sécrétion propre, 659.
SUBSTANCE, 310.
SUCCENTURIÉ (ventricule). Voy. VENTRICULE.
SUÇOIR des insectes, 352, 734.
SUCRE, 256, 739, 831. — fermentation, 613, 626. — formation et décomposition, 690. — dans le fourrage, 469.—aliment respiratoire, rôle dans la nutrition, 577, 613. — ne suffit pas à nourrir tout seul, 368. —action sur la sécrétion du suc gastrique, 803. — fait dissoudre la myosine, 625.— production par les animaux dans le foie, 7, 8, 495. — dans le sang, 7. — dans les muscles, 626.— mode d'élimination, 577. — dans l'urine, 416. — dans la poudre, 826. — *sucre de lait*, 431, 471. — *sucre de fécule*, élimination par l'urine, 664.
SUCRÈE (séve), 139.
SUEUR, élimine de l'organisme le carbone et l'hydrogène, 577. — sert à l'élimination de l'azote par l'urée et l'acide sudorique, 580. — *acide sudorique*, 613.
SUIF, quantité dans un bœuf, 485.
SUINT de mouton, 385.
SULFATES de diverses bases. Voy. au nom de chaque base, AMMONIAQUE, SOUDE, etc.
SULFHYDRIQUE (acide), action du chlorure de fer, production d'une coloration pourpre, 819. — action de la chaleur sur la dissolution, coloration bleue, 819. — dans l'atmosphère, 2, 117, 118. — dans les éruptions volcaniques, 557, 798.
SULFURÉ (hydrogène). Voy. SULFHYDRIQUE (ac.).
SULFUREUX (acide), dans les éruptions volcaniques, 557.
SULFURIQUE (acide), action sur le sélénium et le tellure, production de liquides colorés, 819. — réaction sur l'aniline, 374. — dans la pile galvanique, 810, 812. — dans la luzerne, 98.— n'a pas d'action sur l'organe électrique de la torpille, 727.— augmente dans l'urine pend. l'inanition, 582.
SURDITÉ, peut se produire sous l'action de la quinine, 740.
SURFUSION, 586.
SURMENÉS (bestiaux), se putréfient rapidement, pourquoi, 522.
SURMULOT, glandes salivaires, 661.
SURSATURÉES (dissolutions), leur cristallisation, 295, 296, 586, 758 à 760, 825.
SYMPATHIQUE (système nerveux grand). Voy. GRAND SYMPATHIQUE.
SYMPATHIQUES (actions), 494.
SYMPATHIQUES (ganglions). Voy. GANGLIONS.
SYMPATHIQUES (nerfs), centre de nutrition, 657.—dégénérescences, effets sur le cœur, le poumon, la circulation, etc., 658.
SYMPTÔMES pathologiques, ne se comprennent que par leur rapprochement avec les phénomènes physiologiques, 83 et suiv.
SYNAPTES, 843 à 845.
SYNTHÈSE en physiologie, 171, 172.
SYNTONINE, substance qui se trouve dans les muscles, 625.— transformation, 626, 656.
SYSTOLE du cœur, caractères graphiques, secousse induite, 567, 568.

T

TABAC, culture, 101.
TACHES DU SOLEIL. Voy. SOLEIL (taches du).
TÆNIA, digestion, 524.
TALÈFRE (glacier du), 435, 438.
TANCHE, contraction musculaire, 568.
TAN, dans la poudre à canon, 826.
TANNIN, coagule l'albumine, empêche la décharge de l'appareil électrique de la torpille, 727. — action sur le lait, 431.
TANNIQUE (ac.), dans la poudre à canon, 826.
TARDIGRADES, dessiccation, réviviscence, 546, 547. — durée de la vie, 548.
TARTARE, crâne, 751.
TARTRIQUE (ac.), isolé par Scheelé, 165. — dyssimétrie moléculaire, sursaturation, 825.
TASAJO, préparation de l'œuf, 487, 488.
TAUPE, a des trichines, 488.
TAUREAU, où le frappe le toréador, 495. — prix en Amérique, 488.
TAURINE, 739.
TEINTURE, 369 à 375. — couleurs de *grand* et de *petit teint*, 371.
TÉLÉGRAPHE ÉLECTRIQUE, 395.
TÉLESCOPE, imperfection résultant de la compensation imparfaite du flint et du crowglass, 687.
TELLINES, mollusques acéphales, 379, 380.
TELLURE, action de l'ac. sulfurique, production de solutions colorées, 819.
TEMPÉRATURE, 250 à 252. — augmentation de température avec la profondeur, 250.— température des espaces planétaires, 251, 646. — influence d'une éclipse, 646. — ses minima et maxima moyens dans chaque lieu, sa distribution, 174. — influence de la latitude et de l'altitude, 175, 176. — effets parallèles sur la végétation, 176. — influence sur la récolte annuelle, 510. — température des eaux, 200, 201.
TEMPS, en géologie, immensité, 479, 480.
TENDON, digestibilité, 366.
TENTHREDINIDÆ, insectes, leurs larves, 589.
TÉRÉBENTHÈNE, 651.
TÉRÉBENTHINE, s'extrait du pin, 140.
TÉRÉBRATULES, 459, 461, 462.— fossiles, 604.
TERRE, idée qu'on s'en faisait autrefois, 684. — sa constitution chimique, 685. — vitelle? 306. — dimensions, 639. — son origine et son avenir, 401 à 408.— théorie de sa formation, 402. — a été nébuleuse et soleil, 404. — épaisseur et mouvements de l'écorce, 405, 406 et 473 à 480.— elle deviendra comme la lune, 407. — mort par congélation totale, 408. — ses divers mouvements, 322 à 324. — son mouvement de translation autour du soleil, effets qui en résultent dans l'aspect des phénomènes célestes, 636, 638 et suiv., 666. — précession des équinoxes, variations d'obliquité de l'écliptique, nutation, 666. — changement d'excentricité de l'orbite, influence sur les phénomènes géologiques, 691. — modifications de la chaleur des saisons par suite de la distance plus ou moins grande du soleil, 691. — causes des changements géologiques, 691. — période glaciaire, 691. — ralentissement de son mouvement de rotation, 321 à 331, 688. — rondeur de la terre, 321, 322. — chaleur centrale, 250, 251, 406. — chaleur reçue du soleil, 251. — déplacement dans l'espace, 251. — fluidité primitive, lignes de soulèvement des montagnes,

Digitized by Google

797. — marées souterraines du liquide igné comme causes des éruptions volcaniques, 728. — magnétisme terrestre, rapport avec les taches du soleil, 649, 688. — courants électriques, 748. — *spectre* de l'atmosphère, raies telluriques du spectre solaire, 749.
Tertiaire (période géologique), circonscription des mers à sa fin, plaines marécageuses, forme, 473, 474.
Test des oursins, 516, 517, 772. — des astérides, 822.
Testicules, sécrétion, atrophie dans certaines conditions, 52, 53.
Tétanos, sa production, 208, 551, 552.
Têtard de la salamandre et de la grenouille, développ. de la colonne vertébrale, 244.
Tête, poids chez le bœuf et le porc (boucherie), 485, 486.
Thalassème, 481.
Thé, peut être bien cultivé aux États-Unis, 535. — dans l'alimentation, composition chimique, 515, 578.
Théine, 578.
Théobromine, 515.
Thériaque, origine et histoire, 285, 286.
Thermo-électrique (pile) de Melloni, 540.
Thermogènes (aliments). Voy. Respiratoires.
Thermomètre, graduation, 731.
Thermomultiplicateur, 196, 198, 540.
Thetys léporine de la Méditerranée, expulse à son gré une partie de son sang, 73, 271, 272. — *Thétyaires*, 482.
Thymol, 652.
Tiges, lois de leur enroulement, 89. — direction, causes, influence du soleil, action des diverses couleurs du spectre, 102, 249, 533. — mode d'accroissement chez les dicotylédonés, 243, 244.
Tilleul, dimensions, longévité, 188.
Timbre des sons, lois, analyse, moyen de le reproduire, 574, 575.
Timbres-poste, fabrication, 395.
Tiphis tubulifer, coquille, fossile, 604.
Tiroir dans les machines à vapeur, 150, 151.
Tissus végétaux. Voy. Végétaux (tissus).
Toluidine, 653. — *Ac. toluique*, double forme, 652, 653, 655. — *Ac. tolurique*, 653.
Ton comparé à la couleur, 228.
Tonnerre. Voy. Foudre.
Topinambours, fixation d'azote, 68.— carbone contenu, 233. — carbone fixé, 234.
Tornéo (golfe de), deviendra un lac, 477.
Torpille, poisson électrique, 722 à 727. — effets de la décharge, 723. — structure de l'organe électrique, 723 à 725. — moyen de recueillir sa décharge, 723, 724. — influence du système nerveux sur la production de la décharge, 724, 725. — réaction sous sa propre décharge, 725, 726. — source de l'électricité, 726, 727.— insensibilité des nerfs électriques, 726.
Tortue, contraction musculaire, tétanos, 568. — tempér. intér., 413. — glandes sublinguales, 658. — suc gastrique, action de la chaleur, 806. — *fossiles*, 605.
Tourniquet hydraulique, 143.
Tourteau de lin, comme engrais, richesse en azote, équivalent, 134.
Tourterelle, carbone brûlé, 834.—inanition, 367.
Toux, sa cause, 494.
Trachytes en Auvergne, 179.
Transatlantique (cable électrique), 690. — probabilité de sa courte durée, 586.
Transpiration capillaire des gaz dans le vide, 119. — (des *feuilles*), son rôle dans l'ascension de la séve, 103.
Trèfle, fixation d'azote, 68. — rendement, gain d'azote, 99.— carbone contenu, 233.
Tremble, carbone contenu, 233.
Tremelles (végétaux), réviviscence, 546.
Trichine, 488,
Trijumeau (nerf), influence sur la sécrétion des gl. sous-maxillaire, sublinguale et parotide, 720, 721.— act. sur l'œsoph., 756.
Trinité (île de la), volcans de boue, 795.
Trioxybenzoïque (ac.), 653.
Triton alpestre, de reproduction, 427.
Trituration, rôle dans la digestion, 800.
Troene (sphinx du). Voy. Sphinx du troene.
Truite, température intérieure, 413.
Tubercule des oursins, 483.
Tuberculose, inoculation, nature, 793. — anatomie pathologique, 767.
Tubes nerveux, 490.
Tubipores, 303, 482. — *Tubuliporés*, 482.
Tuiles, fabrication, 603.
Tumeurs, 764. — leur nature, 592 à 596. — leur physiologie générale, 606 à 612. — théorie du parasitisme, 592 et suiv. — homœoplasie et hétéroplasie, 593 et suiv. vaisseaux des tumeurs, tumeurs enkystées et solides, 593, 594. — mode d'accroissement, 594. — constitution chimique, ses variations, 594. doctrine des éléments spécifiques, 595. — les tumeurs doivent présenter le caractère du corps d'où ils dérivent, 595.—homologie et hétérologie, 595, 596, 606.— causes, formation et développement des tumeurs, 607 et suiv.— tumeurs, organes éliminatoires, 609, 610. — dangers de l'extirpation, reproduction, 610. — transport de matières morbides, 608 et suiv.— mode d'accroissement, 611. — tumeurs chez les *animaux fossiles*, 714.
Tuniciers, place dans le règne animal, 459.
Tuyau d'orgue, 570, 571.
Tympan (corde du), nerf, influence sur la sécrétion de la glande sous-maxillaire, 720, 742. — de la glande sublinguale, 721 — action paralysante sur les filets du grand sympathique, 745,
Types zoologiques, 733.— dégradation, 364.
Typhoïde (fièvre), 615, 766. — influence sur la chaleur intérieure, 415. — obstruction du canal de Sténon, 660.
Tyrosine, 652. — formation dans l'organisme, 576, 577.

U

Ulmaire (essence d'), 652.
Ultra-violets (rayons), 544.
Unau, estomac, 772.
Unitaire (théorie) en chimie, 696.
Universités allemandes. Voy. Vienne et Allemandes (universités).
Unteraar (glaciers d'), 435.
Uranus, durée de sa révolution, 212.
Urate de chaux. Voy. Chaux (urate de).
Urée, 415, 416, 739. — extraction, 415. — présence dans le sang, 8, 9, 416. — formation et décomposition, 690. — synthèse artificielle, 613. — ne peut servir d'aliment, 578. — formation dans l'organisme, 576. — excrétion, 613.— rôle éliminatoire, 577. — sert à l'élimination de l'azote, 580. — dans les muscles et dans l'urine, 656. — quantité éliminée, 580. —excrétion pendant le travail musculaire, 631, 833. — diminution dans l'urine pendant l'inanition, 682. — augmentation sous l'influence du sel marin, 579. — quand on mange beaucoup de viande, 583. — comme *engrais* (orge et froment), 134
Urémie, 610, 740.
Urine, sécrétion, composition, quantité produite, influence de l'alimentation, 413 416, 833. — analyse des urines de divers animaux, 415, 430.— proportion de quinoïde animale, 739. — fluorescence sous l'influence de la quinine, 740. — élimination de l'albumine, du sucre de fécule 664. — diabète, 664.— modification dans l'inanition, 582. — altérations, 765.
Urique (acide), 415, 416, 430, 613, 656, 834 — dans le sang, 4, 8. — dans les muscles 626. — formation dans l'organisme, 576 577. — comme *engrais* (orge, froment) 134. — *Acide hippurique*, 4, 8.
Utérus, fibres-cellules, caractères de la contraction, 710. — cancer, 612.

V

Vaccine, développement, 745.
Vache, salive, 663. — lait, composition rendement par jour, 431, 470. — urine 430. — nourrie avec de la viande, 614. — décomposition du poids (boucherie), 486.
Vache (arbre de la), son lait, 103, 104.
Vague (nerf), Voy. Pneumogastrique (nerf).
Vaisseaux, rôle dans le développement de l'embryon, 593. — dans les tumeurs 593. — capillaires, action du grand sympathique, relations anatomiques, constriction et dilatation, 495, 709 à 712, 742.
Vaisseaux propres des végétaux, 761.
Vaisseaux de fer, déviat. de la boussole, 353
Valérianique (acide), 739.
Valérien (mont), formation, 602.
Vallées, leur creusement, 476.
Vancouver, Indiens de cette île, mœurs, religion, nourriture, etc., 750, 751.
Vanesse io, insecte, 588.
Vanne (eau de la) à Paris, 113.
Vapeur (machines à), leur histoire, 141 156. — Vapeur régénérée, 155.
Variole, 716, 766, 767. — influence sur la chaleur intérieure, 415.
Vaso-moteurs (nerfs), 495, 742. — rôle d'après la théorie dynam. de la chaleur, 616
Vautour, nourri avec des végétaux, 614. — gésier, 769.
Veau, augmentation par suite de l'allaitement, 513, 514. — carbone exhalé par la respiration, 376.—développement, nourri par une infusion de foin, 432. — prix de revient et consommation, 432. — décomposition du poids total (boucherie), 486.
Végétation, influences parallèles de la latitude et de l'altitude, 176.
Végétative (vie) et vie animale, 521.
Végétaux, 831.—structure, 188, 189.— composition, 189, 255, 256, 274. — nombre de cellules, 700. —mode d'accroissement reproduction, 243, 244. — marcottage 701. — pluralité, métamorphoses, 701.— individualité, 702. — bouture, reproduction, 702. — *Distribution* sur le globe, 535, 536.—action de la *chaleur*, 249, 250, 533. — absorption et conversion de la chaleur solaire, 615. — échauffement résultant des actes de nutrition, 249. — action de la lumière, coloration, 533, 534. — élongation pendant le jour et la nuit 321. — action de l'électricité, 533, 534. — décomposent l'eau, l'ammoniaque, l'ac. carbonique forment d'autres substances, 690. — pourriture végétale, action, 690. — rôle dans l'*alimentation*, 690.

Digitized by Google

INES, transportent les produits du cancer, propagation du mal, 609. — *Circulation veineuse*, 27, 28.
ELLE, 480.
NAISON forcée, se putréfie vite, pourquoi, 522
NTILATION, 377.
NTOUSE, 136.
NTRE (fatalité du), 498.
NTRICULE du cerveau (quatrième), 719.
NTRICULE SUCCENTURIÉ, estomac des oiseaux, 769.
NTS, influence sur l'humidité de l'atmosphère, 254.
NUS (planète), 402, 403.
RATRINE, 738.
RÉTELLE, 481.
RDIER, effets de l'acide carbonique et de l'oxyde de carbone, 377.
RGE, tumeurs, 610.
R LUISANT, insecte, 588.
RRE, introduction d'oxydes métalliques, 687. — *Verre blanc*, 731. — *Verre opale*, lumière transmise, 818.
RRUES, tumeurs, 593, 607.
RS A SOIE, métamorphoses, 730. — maladie actuelle, 506, 565, 585.
ERS, 459 et suiv. Voy. ANNÉLIDES.
ERT, chaleur correspondante, 541.
ERTÈBRE, développement, forme prim., 244.
ERTÉBRÉS, développement embryonnaire; identité primitive des embryons, différentiation postérieure, 735. — système nerveux, 492. — estomac, 768 à 772. — individualité, 703. — *Vertébrés* et *invertébrés*, 319.
ESSIE, fibres-cellules, caractère de la contraction, 710.
ÉSUVE, phénomènes volcaniques, 728.
IANDE, ne se digère plus quand on en prend trop, et produit même un épuisement des tissus de l'organisme : pourquoi? 583. — procédé de conservation, 488. — cuisine, bouillon, 487. — Voy. CHAIR.
IBRATILES (cils), 207. — chez les oursins, 776.
IBRATION musculaire. Voy. MUSCULAIRE.
IBRIONS, dans le fromage de Roquefort, 472.
IDANGES, désinfectants, utilisation dans l'agriculture, 508.
VIE, sa conception mécanique, 305 à 311. — réside dans les cellules, 306 et suiv., 700 et suiv. — origine et apparition, 312. — définition, 313. — principe de la vie, 314. — à quoi elle se réduit essentiellement, 521. — formation, théorie de Lamarck, 298, 299. — vie végétative et animale, 521. — fonctions accompagnées de changements chimiques dans les organes, 93. — combustion vitale, 522. — limites calorifiques, 619. — vie animale et végétale, son cercle, 508.
VIEILLARD, quantité de carbone brûlé, 834.
VIENNE (université de), 500e anniversaire, caractère religieux de l'enseignement, 157.
VIGNE, effets de sa culture sur le régime des eaux, 788. — assimilation d'azote, 100.
VILLOSITÉS intestinales, 772. — comparées aux racines des végétaux, 524.
VIN, matière colorante, 652. — excite la sécrétion gastr., 803. — sera un jour excellent entre San-Francisco et l'Orégon, 535.
VINAIGRE, préparation, 377. — procédé de conservation, 168. — excite la sécrétion de la salive, glande sous-maxillaire, 661, 719.
VINCENNES (bois de), sa consommation d'eau, 11, 114.
VIOLETS (rayons) et ultra-violets, exercent une action sur la direction des tiges des végétaux, mais non sur la coloration des feuilles, 534. — chaleur correspond., 541.
VIPÈRE, température intérieure, 413.
VIRGULAIRE, 481.
VISAGE, coloration, 710, 711. — pâleur, causes, 711.
VITAL (nœud). Voy. NOEUD VITAL.
VITALE (force), 426, 521, 522.
VITELLUS, classification zoologique fondée sur sa position relative pendant le développement, 461.
VITESSE VIRTUELLE, 195.
VIVANTS (êtres), point de vue biologique dans leur étude, 425 à 430. — caractères distinctifs, 426.
VIVARAIS (cratères du), 180.
VOITURES, suspension, 731.
VOLCANS, ordre de succession des matières volatiles rejetées, 557, 728. — causes des éruptions, 728. — éruption d'une île, 553 à 558. — causes des éruptions volcaniques, origine des matières rejetées, 558, 728. — Volcans *du centre de la France*, 177 à 182. — *de boue*, 793 à 798. — d'eau, 798.
VOLTA (pile de), 394.
VOLUBILIS, influence des éclipses, 646.
VOLUBILES (tiges), sens de l'enroulement, 249.
VOLVOX (végétal), dessic., réviviscence, 546.
VOSGES (montagnes des), leur âge, 406.
VOYELLES, production artificielle par des instruments, 575, 576.
VRILLETTE, insecte, 588.
VULCANO (anse de). Voy. SANTORIN.
VULPINIQUE (acide), action de la baryte, 655.

W

WÉGA, étoile, mouvement propre, 667.
WHARTON (conduit de), 658, 660.
WURTEMBERG, rapport des variations de prix du blé avec la mortalité, le nombre des naissances et celui des mariages, 784.

X

XANTHINE, dans les muscles, 626.
XIPHODON, quadrupède fossile, 604.
XYLÈNE, 651, 652, 654. — *Xylidine*, 653.

Z

ZINC, équivalent calorifique, 809. — chaleur développée par son oxydation. 812. — tendance à s'unir à l'oxygène, rôle dans la pile voltaïque, 810, 812.
ZINC (chlorure de), action sur l'acétylène, 654.
ZINC (glycolate de), action sur le chlorure de benzoïde, 656.
ZINC (sulfate de), sursaturation, 759,
ZOANTHE, 482. — *Zoanthoaires*, 482.
ZOOLOGIQUES (classifications), 318, 319, 458.
ZOOPHYTES. mouvements, 731. — appareil digestif, 772. — éponges, gorgones, 381. — Collections du Muséum d'histoire naturelle de Paris, 382.
ZOOSPERMES, 482.

TABLE GÉNÉRALE

DES MATIÈRES CONTENUES DANS LES TROIS PREMIÈRES ANNEES

Le chiffre I renvoie au volume de la première année, le chiffre II à celui de la deuxième, le chiffre III à la troisième.

Astronomie.

État de l'astronomie moderne, constitution physique du soleil, par M. Le Verrier, I. — Constitution physique du soleil, par M. Faye, II. — Les éclipses de soleil, par M. Laussedat, III. — Chaleur produite dans la lune par la radiation solaire, par M. Harrisson, III. — Les nébuleuses, par M. Briot, II. — Les comètes, par M. Briot, III. — Mouvements propres des étoiles et du soleil, par M. C. Wolf, III. — Les étoiles filantes en 1865-1866; leur origine cosmique, par M. A. S. Herchell, III. — Les étoiles variables périodiques et nouvelles, par M. Faye, III. — Une étoile variable, par M. Hind, III. — L'éther remplissant l'espace, par M. Balfour Stewart, III. — Clairault et la mesure de la terre, par M. Bertrand, III. — Ralentissement du mouvement de rotation de la terre, par M. Delaunay, III.

Physique et météorologie.

Divers états de la matière, par M. Jamin, I. — Conversion des liquides en vapeur, par M. Boutan, II. — Les dissociations, les densités de vapeur, par M. H. Sainte-Claire Deville, II. — Le feu, par M. Troost, II. — Histoire des machines à vapeur, par M. Haton de la Goupillière, III. — Mélange des gaz, atmolyse, par M. Becquerel, III. — L'air et son rôle dans la nature, par M. A. Riche, II. — L'air au point de vue de la physique du globe et de l'hygiène, par M. Barral, I. — L'atmosphère et les climats, cours par M. Gavarret, III. — Electricité atmosphérique, par M. Palmieri, II. — La foudre, par M. Jamin, III. — Les aérostats, par M. Barral, I. — Rôle de l'eau dans la nature; eaux de Paris, par M. A. Riche, III. — La glace, par M. Bertin, III. — La glace et les glaciers, par M. Helmholtz et M. Tyndall, III. — Les courants marins, par M. Burat, I. — L'aimant, par M. Jamin, II. — Déviation de la boussole dans les vaisseaux de fer, par M. Archibald Smith, III. — Le son, par M. A. Cazin, III. — Les sons musicaux, par M. Lissajous, II. — Nature de la chaleur comparée à la lumière et au son, par M. Clausius, III. — La radiation solaire, par M. Lissajous, III. — La chaleur rayonnante, par M. Tyndall, III. — Théorie dynamique de la chaleur; applications à la physi-

Digitized by Google

que, à la chimie, à l'astronomie et à la physiologie, par M. C. Matteucci, III. — Effets mécaniques de la chaleur, par M. Cazin, II. — Des images par réflexion et par réfraction; des lentilles, cours par M. Gavarret, III. — Transformation des couleurs par l'éclairage artificiel, III. —Opalescence de l'atmosphère, intensité diverse des rayons chimiques, par M. Roscoe, III. — La photographie, par M. Fernet, II. — Intervention des forces physiques dans les phénomènes de la vie organique et inorganique, par M. Becquerel, II. — Physique appliquée aux arts, cours par M. Ed. Becquerel, I.

Géologie et minéralogie.

Histoire de la minéralogie, par M. Daubrée, II. — Histoire et progrès de la géologie, par M. Ed. Hébert, II. — Origine et avenir de la terre, par M. Contejean, III. — Formation de la croûte solide du globe, par M. Ed. Hébert, I. — Oscillations de l'écorce terrestre pendant les époques quaternaires et modernes, III. — Les périodes géologiques, par M. Wallace, III.— Géologie du bassin de Paris, par M. A. Gaudry, III. — Géologie de l'Auvergne, par M. Lecoq, II.— Volcans du centre de la France, par M. Lecoq, III. — Volcans de boue et gisements de pétrole en Crimée, par M. Ansted, III. — Les phénomènes chimiques des volcans; cause des éruptions, par M. Fouqué, III. — L'éruption d'une île volcanique, par M. Fouqué, III. — Paléontologie, cours sur la faune quaternaire, par M. d'Archiac, I. — Discours sur des questions récentes en géologie, par M. Ch. Lyell, I. — La caverne de Kent, par M. Pengelly, III.

Chimie.

Utilité d'un laboratoire public de chimie, par M. Fremy, I. — Scheele ; un laboratoire de chimie au XVIIIe siècle, par M. Troost, III. — Propriétés générales des corps, par M. Balard, I. — Leçons sur les généralités de la Chimie, par M. S. de Luca, I. — La combustion, par M. Wurtz, I. Les métalloïdes, cours par M. Riche, II. — L'air, par M. Riche, II, et par M. Peligot, III. — L'eau, par M. Wurtz, II. — Les actions catalytiques, par M. Schœnbein, III. — Action de l'oxygène sur le sang, par M. Schœnbein, II. — Le soufre, par M. Payen, III. — L'éclairage au gaz, par M. Payen, II. — Les dissolutions, par M. Balard, I. — Les dissolutions sursaturées, par M. Ch. Violette, II, et par M. J. Jeannel, III. — La dialyse, par M. Balard, I. — Dissociation et densités de vapeur, par M. H. Sainte-Claire Deville, II.—Spectres chimiques, par M. S. de Luca, I. — Lois de constitution des sels, par M. H. Sainte-Claire Deville, I. — Méthodes générales de réduction des métaux, par M. H. Sainte-Claire Deville, II. — L'aluminium, par M. H. Sainte-Claire Deville, I. — Rôle de la chaleur dans la formation des combinaisons organiques, II. — Histoire des alcools et des éthers, II. — Les éthers cyaniques, par M. Cloëz, III. — Chimie organique, par M. Wurtz, II. — La série aromatique par M. Bourgoin, III. — Des fermentations ou du rôle de quelques êtres microscopiques dans la nature, par M. Pasteur, II. — Existence dans les tissus des animaux d'une substance fluorescente analogue à la quinine, III. — Chimie agricole, cours par M. Boussingault, I et III. — Chimie appliquée aux arts, cours par M. Peligot, I. — La teinture par M. de Luynes, III. — Chimie appliquée à l'industrie, cours par M. Payen, I. — La poudre à canon ; nouvelles substances pour la remplacer, par M. Abel, III.

Botanique. — Agriculture.

Organographie végétale, par M. Chatin, I et II. — Développement des végétaux, les racines, par M. Baillon, I. — De la végétation, par M. Boussingault, I. — La végétation du printemps, par M. Lecoq, II. — L'individualité dans la nature, au point de vue du règne végétal, par M. Nægeli, II. — Rapports de la botanique et de l'horticulture, par M. Alphonse de Candolle, III. — Géologie et chimie agricole, par M. Boussingault, I et III.— Physique végétale, par M. George Ville, II et III. — Importance des travaux agricoles en France, par M. Hervé-Mangon, I. — Situation actuelle de l'agriculture en France, par M. Barral, III.— La crise agricole, par M. Georges Ville, III. — Le blé dans ses rapports avec la mortalité, le nombre des naissances et des mariages ; les famines, par M. Bouchardat, III.

Zoologie. — Anthropologie.

L'homme et sa place dans la création, par M. Gratiolet, I. — L'homme et les singes, par M. Filippi, I. — Unité de l'espèce humaine, par M. Hollard II.—Unité de l'espèce humaine ; propagation par migrations, cours par M. de Quatrefages, II. — Caractères généraux des races blanches, par M. de Quatrefages, I. — Histoire naturelle de l'homme, cours par M. G. Flourens, I. — L'homme fossile, les habitations lacustres et l'industrie primitive, par M. N. Joly, II. — La physionomie et la théorie des mouvements d'expressions, par M. Gratiolet, II. — Les reptiles, par M. Duméril, I.— Histoire de la science des animaux articulés ; espèces utiles et nuisibles, par M. E. Blanchard, I. — Histoire des progrès de l'entomologie, par M. E. Blanchard, III.— Les insectes, cours par M. Gratiolet, I.— Métamorphoses des insectes, par M. J. Lubbock, III. — Les fourmis, par M. Ch. Lespès, III. — Production de la soie et de quelques autres matières textiles fournies par les animaux, par M. E. Blanchard, II. — Ravages produits dans les cultures du nord de la France par la noctuelle des moissons, par M. Blanchard, II.— Dangers des déductions a priori en zoologie, III. — Les échinodermes, cours par M. Lacaze-Duthiers, III. — Génération chez les alcyonnaires, par M. Lacaze-Duthiers, II. — Organisation des zoophytes ; le corail, cours par M. Lacaze-Duthiers, II. — Les générations spontanées, par M. Milne Edwards, I ; — par M. Coste, I ; — par M. Pasteur, I ; — par M. Pouchet, I ; — par M. N. Joly, II ; — Le rapport à l'Académie sur les générations spontanées, II.

Embryogénie et anatomie.

Embryogénie comparée, cours par M. Coste, II et III. — Du microscope et des autres moyens d'étude employés en anatomie générale ; caractères organiques des tissus ; ce qu'on doit entendre par organisation dans l'état actuel de la science, par M. Ch. Robin, I. — Histologie, programme du cours de M. Ch. Robin, I et II. — Origine et mode de formation des monstres omphalosites, par M. Dareste, II. — Rapports anatomiques du système nerveux grand sympathique avec les vaisseaux capillaires, par M. Georges Pouchet, III.

Physiologie. — Médecine.

De la méthode en physiologie ; l'unité de la vie, par M. Moleschott, I. — Conception mécanique de la vie ; atome et individu, par M. R. Virchow, III.— L'irritabilité, l'élément contractile et l'élément nerveux, cours de physiologie générale en 1864, par M. Claude Bernard, I et II. — Les liquides de l'organisme, le sang, les sécrétions internes et externes, les excrétions, cours de physiologie générale en 1865, par M. Claude Bernard, II et III. — La vie du sang, par M. R. Vichow, III. — Le mouvement dans les fonctions de la vie, cours par M. Marey, III. — Physiologie du cœur et ses rapports avec le cerveau, par M. Claude Bernard, II. — Le système nerveux, par M. P. Bert, III. — Propriétés et fonctions du système nerveux chez les animaux supérieurs et dans la série animale, cours par M. Vulpian, I et II. — La théorie dynamique de la chaleur dans les sciences biologiques, par M. Onimus, III. — Limites de la nature humaine, par M. Moleschott, I. — Vie et lumière, par M. Moleschott, II. — Du point de vue biologique dans l'étude des êtres vivants ; les poissons électriques, par M. A. Moreau, III. — Physiologie comparée de la digestion, cours par M. Vulpian, III et IV. — De l'alimentation et des anémies, cours par M. G. Sée, III. — Le curare considéré comme moyen d'investigation biologique, cours de médecine expérimentale, par M. Claude Bernard, II. — La physiologie base de la médecine, par M. Moleschott, III. — Erreurs vulgaires au sujet de la médecine, par M. J. Jeannel, III. — Hygiène par M. Bouchardat, I. — Hygiène et physiologie, par M. Henri Favre, I. — De la thérapeutique, par M. Trousseau, II. — Maladies mentales, par M. Lasègue, II. — Application du courant constant au traitement des névroses, cours par M. Remak, II. — Anatomie pathologique, par M. A. Laboulbène, III. — Nature et physiologie des tumeurs, par M. R. Virchow, III. — Pathologie générale, par M. Chauffard, I ; — par M. Axenfeld, II. — — Matérialisme et spiritualisme en médecine, par M. Hiffelsheim, II. — La maladie dans le plan de la création par M. B. Cotting, III.

Histoire et philosophie des sciences.

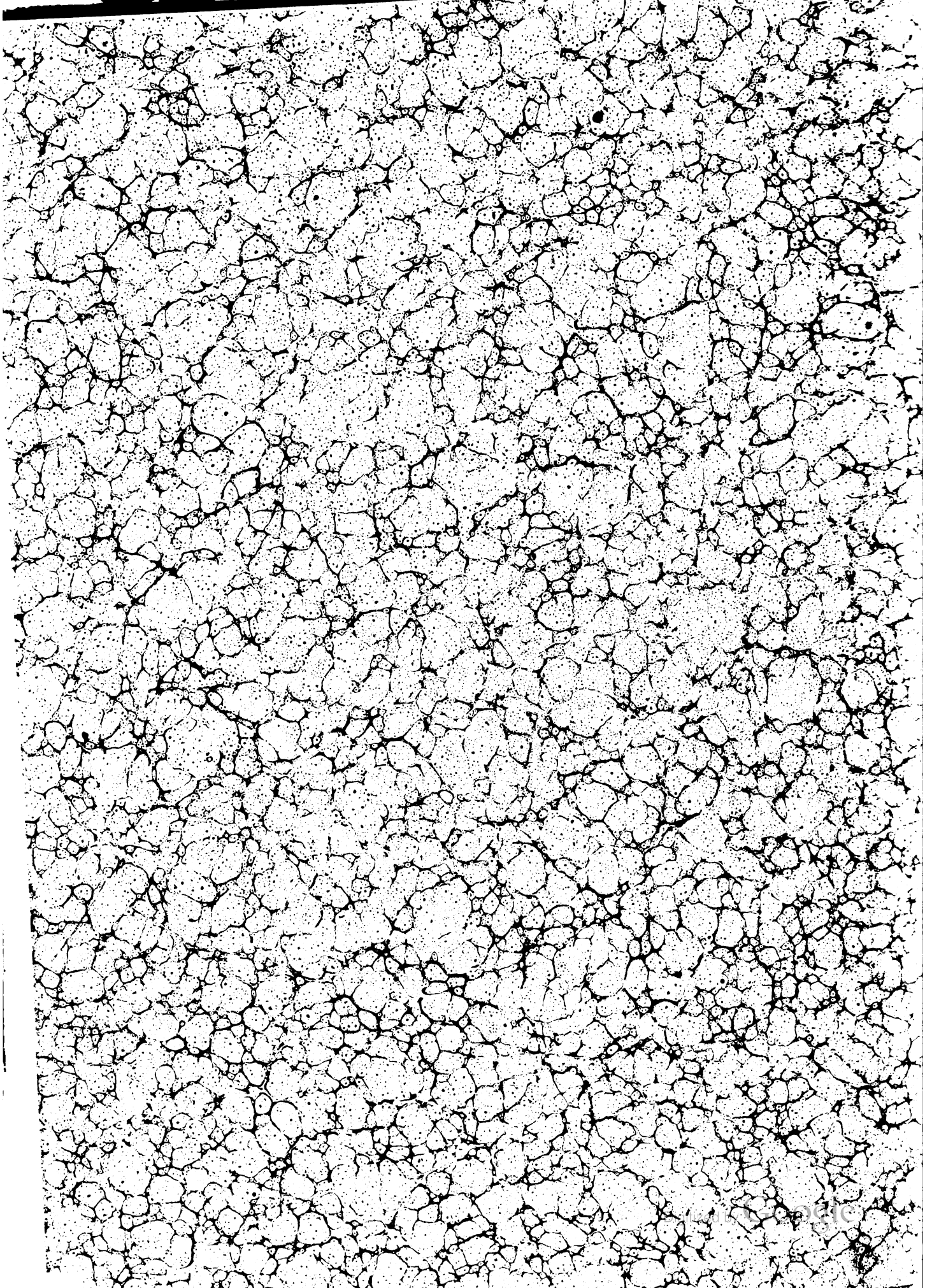
De la continuité dans la nature par M. Grove, III. — De la méthode expérimentale, par M. Matteucci, II. — Revue orale du progrès, par M. Moigno, I. — Revue orale des sciences, par M. Babinet, II. — Passé et avenir des sciences, par M. Barral, II. — Conquête de la nature par les sciences, par M. Dumas, III. — Importance sociale du progrès des sciences, par M. Huxley, III. — Développement national des siences, par M. R. Virchow, III. — Utilité des sciences spéculatives, par M. A. Riche, III. — Histoire de la médecine, par M. Daremberg, II. — La médecine dans l'antiquité et au moyen âge, par M. Daremberg, III. — Barthez et le vitalisme; histoire des doctrines médicales, par M. Bouchut, I. — Les chirurgiens érudits ; Antoine Louis, par M. Verneuil, II. — Guy de Chauliac, par M. Follin, II. — Harvey, par M. Béclard, II. — L'école de Halle ; Frédéric Hoffman et Stahl, par M. Lasègue, II. — Éloge de du Trochet, par M. Coste, III. — Éloge de P. Gratiolet, par M. P. Bert, III. — Vie et travaux de Lamack, De Blainville et Valenciennes, par M. Lacaze-Duthiers, III. — Newton, sa vie et ses travaux, par M. Bertrand, II — Clairault et la mesure de la terre, par M. Bertrand, III. — Franklin, par M. Henri Favre, I. — Le génie scientifique de la révolution, par M. Henri Favre, I. — Histoire des chemins de fer, par M. Perdonnet, I.

L'étendue considérable des tables ayant envahi les deux pages ordinairement consacrées au faux titre, le brocheur est prévenu qu'il doit faire deux onglets, l'un pour le titre du volume et l'autre pour les pages 857 et 858.

Digitized by Google

Paris. — Imprimerie de E. Martinet, rue Mignon, 2.

Digitized by Google



This book should be returned to the Library on or before the last date stamped below.

A fine of five cents a day is incurred by retaining it beyond the specified time.

Please return promptly.

4031236

MAR 23 '72 H

3 2044 102 925 633

Digitized by Google